

IEA Solares Heizen und Kühlen (SHC) Task 61/EBC Annex 77: Ganzheitliche Lösungen für Tages- und Kunstlicht

D. Geisler-Moroder,
S. Hammes, Wilfried Pohl,
R. Weitlaner

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

16/2022

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe
unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Interimistischer Leiter: DI Theodor Zillner

Auszugsweise Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen:
<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

IEA Solares Heizen und Kühlen (SHC) Task 61/EBC Annex 77: Ganzheitliche Lösungen für Tages- und Kunstlicht

David Geisler-Moroder, Sascha Hammes, Wilfried Pohl
Bartenbach GmbH

Robert Weitlaner
HELLA Sonnen- und Wetterschutztechnik GmbH

Aldrans, November 2021

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Programm FORSCHUNGSKOOPERATION INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR. Es wurde vom Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) initiiert, um Österreichische Forschungsbeiträge zu den Projekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu finanzieren.

Seit dem Beitritt Österreichs zur IEA im Jahre 1975 beteiligt sich Österreich aktiv mit Forschungsbeiträgen zu verschiedenen Themen in den Bereichen erneuerbare Energieträger, Endverbrauchstechnologien und fossile Energieträger. Für die Österreichische Energieforschung ergeben sich durch die Beteiligung an den Forschungsaktivitäten der IEA viele Vorteile: Viele Entwicklungen können durch internationale Kooperationen effizienter bearbeitet werden, neue Arbeitsbereiche können mit internationaler Unterstützung aufgebaut sowie internationale Entwicklungen rascher und besser wahrgenommen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch viele IEA Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und auch in der Marktumsetzung konnten bereits richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Publikationsreihe und die entsprechende Homepage www.nachhaltigwirtschaften.at gewährleistet wird.

DI Theodor Zillner

Interimistischer Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | Kurzfassung | 7 |
| 2 | Abstract | 10 |
| 3 | Ausgangslage | 12 |
| 4 | Projekthalt | 15 |
| 5 | Ergebnisse | 19 |
| 5.1. | Anforderungen von NutzerInnen an integrale Tages- und Kunstlichtlösungen | 19 |
| 5.2. | Integration und Optimierung von Tages- und Kunstlicht | 21 |
| 5.2.1. | Befragung von Fachleuten: Möglichkeiten und Hindernisse..... | 21 |
| 5.2.2. | Kritische Überprüfung bestehender Steuersysteme und ihrer Funktionalitäten..... | 21 |
| 5.2.3. | Analyse neuer Systeme..... | 22 |
| 5.2.4. | Kritische Analyse der Schnittstellen | 23 |
| 5.2.5. | Verknüpfung mit Normungsaktivitäten..... | 24 |
| 5.3. | Planungsunterstützung für AnwenderInnen | 25 |
| 5.3.1. | Workflows und Software für die Planung von integralen Beleuchtungslösungen.... | 25 |
| 5.3.2. | Charakterisierung von Tageslichtsystemen mittels BSDFs | 27 |
| 5.3.3. | Spektrale Himmelsmodelle für fortgeschrittene Tageslichtsimulationen..... | 32 |
| 5.4. | Evaluierung der Performance integraler Lichtlösungen in Labor- und Feldstudien | 33 |
| 5.4.1. | Ausarbeitung eines umfassenden Monitoringprotokolls | 33 |
| 5.4.2. | Österreichische Fallstudie: Living Lab im Bartenbach F&E-Gebäude..... | 33 |
| 5.5. | Vernetzende Aktivität: Bewertungstool & VR-Entscheidungshilfe..... | 38 |
| 5.5.1. | Stündliche Bewertungsmethode für integrierte Lösungen | 38 |
| 5.5.2. | Virtual Design Guide | 38 |
| 5.6. | Veröffentlichungen | 40 |
| 6 | Vernetzung und Ergebnistransfer | 42 |
| 7 | Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen | 47 |

1 Kurzfassung

Auf die Beleuchtung entfallen etwa 15 % des weltweiten Stromverbrauchs. Eine intelligente Abstimmung von Tageslicht- und Kunstlichtlösungen sowie integrale Lichtsteuerungen ermöglichen wesentliche Energieeinsparungen. Gleichzeitig müssen die Lösungen Nutzer:innen-zentriert anhand der visuellen und biologischen Lichtwirkungen optimal geplant werden. Im Task wurden Anforderungen der Nutzer:innen sowie existierende Technologien und Planungsmethoden analysiert und exemplarische Umsetzungen in Fallstudien dokumentiert.

Der IEA SHC Task 61/EBC Annex 77 zielte darauf ab, Potenziale der Integration von Tageslicht- und Kunstlichtlösungen und entsprechenden Steuerungsansätzen aufzuzeigen, um höchste Energieeffizienz der Beleuchtungslösungen zu erzielen und optimale Lichtbedingungen für die Benutzer:innen zu realisieren. Über einen Zeitraum von 3½ Jahren arbeiteten im Task 55 internationale Expert:innen aus 37 Forschungsinstituten, Universitäten und Unternehmen aus 17 Ländern aus den Bereichen Tageslicht, Kunstlicht und Lichtsteuerungen zusammen.

Der Task beschäftigte sich mit der Allgemeinbeleuchtung in Innenräumen, wobei das Hauptaugenmerk auf Anwendungen in Nicht-Wohngebäuden lag. Behandelt wurde die Integration von

- Tageslichtnutzung durch innovative Fassadensysteme und architektonische Lösungen,
- Kunstlichtlösungen unter Einsatz neuer Technologien und Planungsansätzen, sowie
- Lichtsteuerungen und Steuerstrategien mit speziellem Schwerpunkt auf visuelle und nicht-visuelle (biologische) Anforderungen der Nutzer:innen und auf die Schnittstelle zwischen Tages- und Kunstlicht.

Abbildung 1: Umsetzung einer integralen Tages- und Kunstlichtlösung (links), und innovative Fassadenlösung im F&E-Gebäude bei Bartenbach in Aldrans, Österreich. (Bilder: Bartenbach)

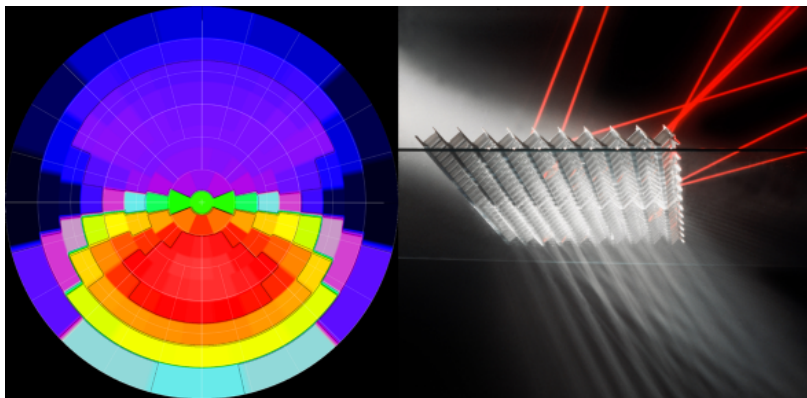


Anforderungen aus Sicht der Benutzer:innen wurden gesammelt, wobei visuelle und nicht-visuelle Bedürfnisse berücksichtigt wurden. Die Ergebnisse wurden in typische Benutzer:innen- und Zeitprofile, sogenannte „Personas“, zusammengeführt. Der Stand der Technik im Bereich der Lichtsteuerungen wurde erhoben, neue Entwicklungen analysiert und auf ihr Zukunftspotenzial untersucht. Ein allgemein anerkanntes Schema zur Charakterisierung von Tageslichtsystemen existierte bisher am Markt noch nicht. Ein Hauptziel war es daher, bestehende Ansätze zu

vergleichen und eine einheitliche Methodik auszuarbeiten. Bis dato gab es kein stundenbasiertes Bewertungsverfahren für Beleuchtungssysteme, obwohl das in vielen anderen Gewerken im Gebäudebereich bereits üblich ist. Ein solches Verfahren, das nun sowohl Tageslicht, Kunstlicht und auch Lichtsteuerungen abbildet, wurde ausgearbeitet. Um Aussagen über die Performance installierter integraler Beleuchtungslösungen treffen zu können, wurde ein Bewertungsprotokoll ausgearbeitet und in zahlreichen Fallstudien angewandt und getestet.

Die Ergebnisse aus dem Task sind in Berichten verfügbar und über die Programmhauptseite abrufbar. Das Verfahren zur Charakterisierung von Tageslichtsystemen wurde in einem White Paper als Vorarbeit für einen Normentwurf ausgearbeitet, das stundenbasierte Bewertungsverfahren als Ergänzung im Zuge der Revision der ISO 10916 vorbereitet.

Abbildung 2: Einer der Forschungsschwerpunkte im Task: Verfahren zur Charakterisierung von Tageslichtsystemen (Bild: Bartenbach)



Ergebnisse im internationalen Task

- Taskberichte zu „Personas für Nutzer:innen-zentrierte integrale Lichtlösungen“, „Integration und Optimierung von Tages- und Kunstlicht“, „Workflows im Designprozess integraler Lichtlösungen“, „Integrale Lichtlösungen in der Praxis“.
- Fact Sheets zu Fallbeispielen realisierter Projekte mit integralen Lichtlösungen
- Charakterisierungsverfahren für Tageslichtsysteme
- Normierung: Work Item zur Überarbeitung der ISO10916 zur Ergänzung um das stundenbasierte, gesamtheitliche Bewertungsverfahren
- Entscheidungshilfe „Online Design Guide“
- Web-Tool zur stundenbasierten Energieberechnung für Beleuchtung

Österreichische Beiträge

- Leitung Subtask C „Design Support for Practitioners (Tools, Standards, Guidelines)“.
- Ausarbeitung der visuellen und nicht-visuellen Nutzer:innen-Anforderungen an die Beleuchtung.
- Zusammenfassung des Stands der Technik im Bereich der integrativen Tages- und Kunstlichtsteuerungen.
- Ausarbeitung eines White Paper als Vorarbeit für einen Normentwurf zur Charakterisierung von Tageslichtsystemen.

- Österreichisches Fallbeispiel: Dokumentation und Monitoring einer integralen Tages- und Kunstlichtlösung im F&E-Büro bei Bartenbach.
- Aufbereitung der Tageslichtberechnungsmethode als Teil der integralen, stündlichen Bewertungsmethodik.

2 Abstract

The IEA SHC Task 61/EBC Annex 77 aimed to identify potentials for the integration of daylighting and electric lighting solutions and corresponding control approaches in order to achieve the highest energy efficiency of lighting solutions and to realize optimal lighting conditions for users. Over a period of 3½ years, 55 international experts from 37 research institutes, universities, and companies from 17 countries from the fields of daylighting, artificial lighting and lighting controls worked together in the Task.

The Task dealt with general lighting in indoor environments, focusing on applications in non-residential buildings. It addressed the integration of

- daylight utilization through innovative facade systems and architectural solutions,
- electric lighting solutions using new technologies and design approaches, and
- lighting controls and control strategies with a special focus on visual and non-visual (biological) user requirements and on the interface between daylight and electric light.

Figure 3: Implementation of an integral daylighting and electric lighting solution (left), and innovative façade solution in the R&D building at Bartenbach in Aldrans, Austria. (Images: Bartenbach)

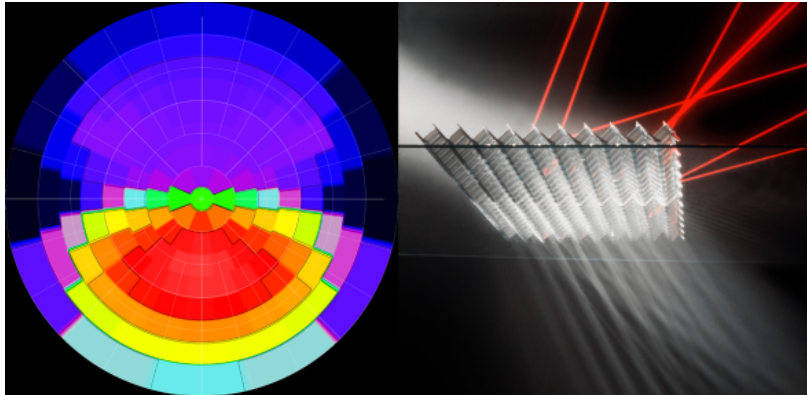


User requirements were collected, taking into account visual and non-visual needs. The results were combined into typical user and time profiles, so-called "personas". The state of the art in lighting controls was surveyed, and new developments were analyzed and examined for their future potential. A generally accepted scheme for characterizing daylighting systems did not yet exist on the market. Therefore, one of the main objectives was to compare existing approaches and to work out a uniform methodology. Furthermore, up to now there was no hourly based evaluation procedure for lighting systems, although this is already common practice in many other trades in the building sector. Such a procedure was elaborated, which now covers daylighting, electric lighting and also lighting control systems. In order to be able to make statements about the performance of installed integral lighting solutions, a monitoring protocol was elaborated and applied and tested in numerous case studies.

The Task results are available in reports and can be accessed via the program website. The procedure for characterizing daylighting systems was elaborated in a white paper as preliminary work for a draft

standard, and the hourly based evaluation procedure was prepared as an addition in the course of the revision of ISO 10916.

Figure 4: One of the main research areas in the Task: methods for characterizing daylighting systems (Image: Bartenbach)



Results of the international Task

- Task reports on "Personas for user-centered integral lighting solutions", "Integration and optimization of daylighting and electric lighting", "Workflows in the design process of integral lighting solutions", "Integral lighting solutions in practice".
- Fact sheets on case studies of realized projects with integral lighting solutions.
- Characterization procedure for daylighting systems.
- Standardization: Work item on the revision of ISO10916 to add the hour-based, integral assessment procedure.
- Decision support tool "online design guide".
- Web tool for hour-based energy calculation for lighting.

Austrian contributions

- Management of Subtask C "Design Support for Practitioners (Tools, Standards, Guidelines)".
- Elaboration of visual and non-visual user requirements for lighting.
- Summary of the state of the art in the field of integrative daylighting and electric lighting controls
- Elaboration of a white paper as preliminary work for a draft standard on the characterization of daylighting systems.
- Austrian case study: documentation and monitoring of an integrative daylighting and electric lighting solution in the R&D office at Bartenbach.
- Preparation of the daylight calculation method as part of the integral hourly evaluation method.

3 Ausgangslage

Auf die Beleuchtung entfallen etwa 15 % des weltweiten Stromverbrauchs. Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der energieeffizienten Beleuchtungstechniken, die Tageslicht, Kunstlicht und integrale Beleuchtungssteuerung umfassend betrachten, können erheblich zur Senkung dieses Bedarfs beitragen¹. Nichtsdestotrotz führen verschiedene Einflussfaktoren zu einem absoluten Anstieg des weltweiten Energieverbrauchs für Beleuchtung. Dazu zählen etwa das allgemeine Wirtschaftswachstum, höhere Nutzer:innen-Anforderungen und Ansprüche an die Qualität der Beleuchtung, aber auch sogenannte Rebound-Effekte, wodurch bedingt durch günstigere und vielseitigere elektrische Beleuchtung mehr Licht genutzt wird, jedoch weniger bewusst. Ganz nach dem Motto „mehr für weniger“. Sowohl der Beleuchtungs- als auch der Fassadenmarkt haben in den letzten Jahren bedeutende technologische Entwicklungen und ein starkes Wachstum erlebt. Dennoch agieren beide Marktsegmente noch immer weitgehend unabhängig voneinander und lassen dadurch große Chancen für bessere nutzerzentrierte und gleichzeitig effiziente Systeme aus. Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der energieeffizienten Beleuchtungstechniken, die Tageslicht, Kunstlicht und Lichtsteuerung integrieren, sind daher unbedingt notwendig. Insgesamt muss als Ziel verfolgt werden, dass dieser integrale Ansatz der Verknüpfung von Tageslicht und Kunstlicht in die Anwendung gebracht und schließlich in den Markt übergeführt wird. So können der damit einhergehende weltweite Stromverbrauch und die CO₂-Emissionen erheblich reduziert werden. Die Ausrichtung dieses Tasks steht daher im direkten Einklang mit nationalen und internationalen Regierungs- und Kommissionszielen in Bezug auf Energieeffizienz und Nachhaltigkeit^{2,3}.

Übergeordnete Zielsetzung im internationalen Task war es, die Integration von Tageslicht und elektrischen Beleuchtungslösungen zu fördern, um eine höhere Zufriedenheit bei Nutzer:innen und gleichzeitig Energieeinsparungen zu erreichen. Konkret wurden dafür die folgenden spezifischen Ziele verfolgt:

- Gegenüberstellung der Perspektive der Nutzer:innen (Bedürfnisse/Akzeptanz) und Energie im aufkommenden Zeitalter der „intelligenten und vernetzten Beleuchtung“ für eine Auswahl von Gebäudetypologien und Anwendungsfeldern.
- Konsolidierung der Ergebnisse in Szenarien und „Personas“, die das Verhalten typischer Nutzer:innen widerspiegeln.
- Aufbereitung der Grundlagen für Empfehlungen für Energieverordnungen und Gebäudezertifizierungen basierend auf Recherchen zur Spezifikation hinsichtlich Beleuchtungsqualität, nicht-visueller Effekte sowie der Umsetzbarkeit während der Phasen Design, Installation und Nutzung.
- Bewertung und Erhöhung der Robustheit integrierter Tageslicht- und elektrischer Beleuchtungskonzepte in technischer, ökologischer und ökonomischer Hinsicht.

¹ IEA SHC Position Paper “Daylighting of Non-Residential Buildings”, IEA SHC, 2019: <https://task50.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/IEA-SHC-Daylighting-Non-Residential-Buildings-Position-Paper.pdf>

² BMK: „Nachhaltige Klimaschutz-Maßnahmen“: https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/agenda2030/bericht-2020/nachhaltigkeit.html

³ UNEP: “2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector”: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34572/GSR_ES.pdf

- Demonstration und Verifizierung von Konzepten in Laborstudien und realen Anwendungsfällen auf der Grundlage von Test- und Monitoring-Protokollen.
- Entwicklung gesamthafter Bewertungsmodelle mit Berücksichtigung sowohl photometrischer und energetischer Aspekte als auch des Nutzer:innen-Komforts als Vorbereitung für spätere, normative Arbeit in Abstimmung mit relevanten Normungsgremien (CIE, CEN, ISO).
- Bereitstellung von Entscheidungshilfen und Design-Richtlinien für Anwender:innen in der Planung unter Einbeziehung digitaler Hilfsmittel durch Integration der Methoden in weit verbreitete Lichtplanungssoftware und erlebbar machen in Virtual Reality.
- Bündelung von Kompetenzen durch Vernetzung von Unternehmen aus den Bereichen Beleuchtung und Fassade in Workshops und konkreten Projekten mit der wissenschaftlichen Gemeinschaft. Dadurch wird der Mehrwert integrierter Lösungen aufgezeigt und die Verbreitung im Markt unterstützt.

Zur Erfüllung dieser Ziele verfügt Bartenbach über jahrelange Erfahrung in der Planung von Beleuchtungsanlagen und der Erstellung von Softwarelösungen. Im Zuge mehrerer Forschungsprojekte wurde die Charakterisierung und die Integration von modernen Fassadenlösungen in Berechnungsprogrammen bearbeitet. Speziell aus dem abgeschlossenen Projekt „Bodybuild“⁴ (FFG Programmlinie Beyond Europe, mit LOI-Partnern aus USA und China, die ebenfalls im IEA Task vertreten waren) wurden Inhalte in den Task, speziell in Subtask C, eingebracht. Weiters konnte Bartenbach zu den Subtasks A und D sowie zur Joint Working Group wertvolle Inputs aus den vorangegangenen Forschungsprojekten „VisErgyControl“⁵ (FFG Programmlinie Stadt der Zukunft) und „FACEcamp“⁶ (EFRE Interreg) beisteuern.

HELLA, ebenfalls Partner in den Projekten „VisErgyControl“ und „FACEcamp“, brachte wertvolle Beiträge aus der Perspektive eines Industrieunternehmens in der Tageslicht- und Steuerungsbranche in das Projekt und den internationalen Task ein. Vorrangig konnten hier zum technologischen Subtask B inhaltliche Inputs sowie Messmuster zur BSDF Charakterisierung in Subtask C beigetragen werden.

Gleichzeitig kam viel Knowhow der Forschungspartner im internationalen Task zurück in die nationalen Projekte in Österreich. Übergreifend war der deutliche Mehrwert der Beteiligung durch die starke Vernetzung sowie die Einbindung der einschlägigen Industrie über die parallel zu den Meetings stattfindenden Industrie-Workshops gegeben. Mit der erfolgreichen Ausarbeitung eines White Papers für die Charakterisierung von Tageslichtsystemen sowie des Normentwurfs für ein ganzheitliches, stundenbasiertes Bewertungsverfahren wurde der IEA Task weit über die wissenschaftliche Gemeinschaft hinaus mit großem Interesse verfolgt. Mit der starken österreichischen Präsenz im Task konnte sich Österreich, vertreten durch die beiden Projektpartner Bartenbach und HELLA, als Vorreiter in diesem Bereich präsentieren.

Die Struktur eines IEA Projekts bietet immer eine ideale Plattform für internationale Forschungsk Kooperationen. Die teilnehmenden Partner bzw. Länder profitieren vom Knowhow der anderen Teilnehmer:innen. So müssen etwa Recherchen zum internationalen Stand der Technik nur einmal durchgeführt werden. Softwarelösungen zur Planungsunterstützung und für Simulationen

⁴ Bodybuild: Bodybuild@Bartenbach-Homepage, <https://projekte.ffg.at/projekt/2758233>

⁵ VisErgyControl: <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/sdz/projekte/vis-ergy-control.php>

⁶ FACEcamp: <https://www.facecamp.it/>, FACEcamp@Bartenbach-Homepage

sind in unterschiedlichen Ländern ähnlich und können verglichen und gemeinsam verbessert werden. Die internationale Struktur bringt Stakeholder und Industrie-Vertreter:innen verschiedener Länder zusammen und eröffnet dadurch neue, potenzielle Märkte. Insgesamt ergibt sich für alle teilnehmenden Länder ein signifikant höherer Output, als dies bei vergleichbarem Aufwand in rein nationalen Projekten der Fall wäre.

4 Projektinhalt

Das Programm „Solar Heating and Cooling“ wurde 1977 als eines der ersten Programme der IEA gegründet. Das Mission Statement bringt den wesentlichen Inhalt auf den Punkt:

"Durch multidisziplinäre internationale Gemeinschaftsforschung und Wissensaustausch sowie Markt- und Politikempfehlungen wird das SHC TCP daran arbeiten, die Verbreitung von solaren Heiz- und Kühlsystemen zu erhöhen, indem es die technischen und nicht-technischen Hürden für eine verstärkte Verbreitung abbaut."

Der Ansatz gemeinsamer Anstrengungen und Arbeiten von Expert:innen aus den Mitgliedsstaaten bietet folgende Vorteile:

- Er beschleunigt die Gangart von Technologieentwicklungen,
- treibt Standardisierung voran,
- bereichert nationale F&E-Programme,
- erlaubt nationale Spezialisierungen und
- spart Zeit und Geld.

Die thermische Energie der Sonne kann sowohl zum Heizen als auch zum Kühlen verwendet werden. Zentrale Anwendungsgebiete finden sich dort, wo Wärme bei relativ niedrigen Temperaturen benötigt wird, wie etwa Warmwasserversorgung oder Raumheizung. Solare Anwendungen können auch zur Kühlung verwendet werden, sofern das Angebot (sonnige Sommertage) und die Nachfrage (kühle Innenräume) gut zusammenpassen. Darüber hinaus stellt die Tagesbelichtung eine direkte und unmittelbare Nutzung der Solarenergie dar.

Aufgrund diverser Einschränkungen (Kosten, Gebäudeeffizienz, Politik) wird allerdings nur ein geringer Anteil des benötigten Heiz- und Kühlbedarfs über solare Energie gelöst. Um diese Einschränkungen zu überwinden und den Weltmarkt zu durchdringen, arbeitet das IEA SHC Programm in drei wesentlichen Bereichen:

- Ausbildung von Benutzer:innen und Entscheidungsträger:innen
- Ausweitung des Marktes für Solarthermie
- Forschung, Entwicklung und Evaluierung von Hardware, Materialien und Designs.

Die Themen Tageslicht, Kunstlicht und integrale Lichtlösungen sind seit jeher stark in den IEA Tasks und Annexes verankert. So baute der IEA SHC Task 61/EBC Annex 77 wesentlich auf folgenden IEA Aktivitäten auf, bei denen – bis auf Task 31 – Österreich (jeweils vertreten durch Bartenbach) bereits maßgeblich beteiligt war:

- SHC Task 21: Daylight in Buildings
- SHC Task 31: Daylighting Buildings in the 21st Century
- SHC Task 50: Advanced lighting solutions for retrofitting buildings
- ECBCS Annex 45: Energy-Efficient Future Electric Lighting for Buildings

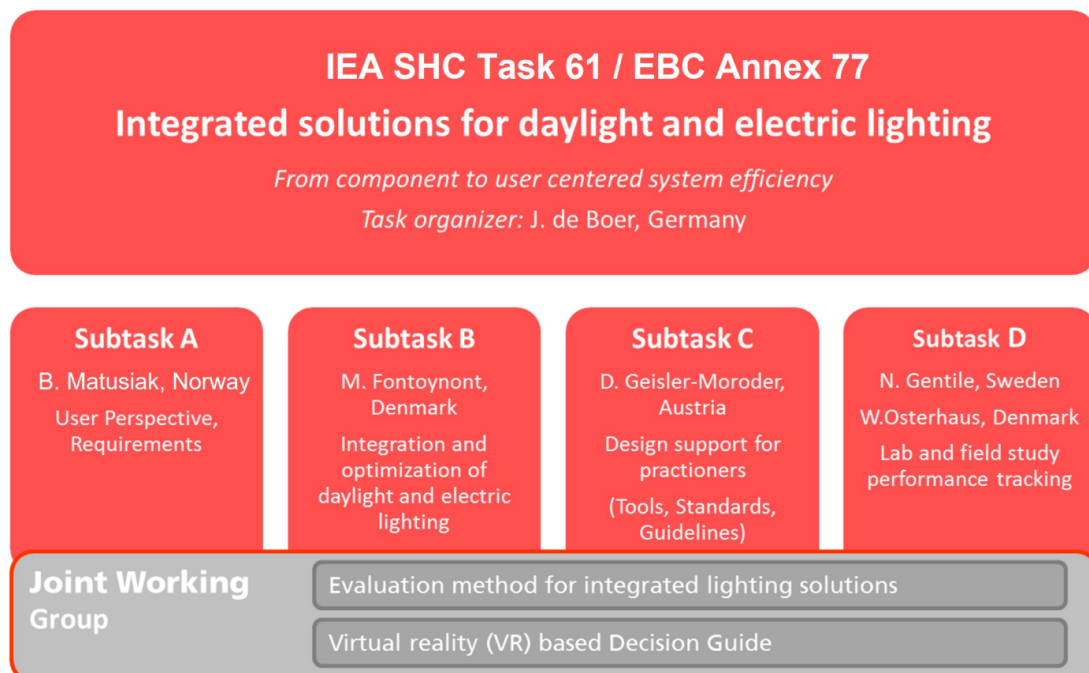
Im SHC Task 61/EBC Annex 77 arbeitete das internationale Projektkonsortium an der Entwicklung von Strategien, welche Tageslicht, Kunstlicht und entsprechende Steuerungssysteme kombinieren, um zu folgenden Ergebnissen zu gelangen:

- Energieeffiziente Beleuchtungssysteme und
- Lösungen, welche die besten Lichtverhältnisse für den Menschen bieten.

Über einen Zeitraum von 3½ Jahren brachte der Task mehr als 55 internationale Expert:innen aus 37 Forschungsinstituten, Universitäten und Unternehmen aus 17 Ländern zusammen. Für die inhaltliche Zusammenarbeit wurde der Task in vier Subtasks sowie eine „Joint Working Group“ unterteilt, welche wiederum in einzelne Work Items unterteilt waren. Die übergeordnete Leitung des Tasks als Operating Agent wurde von Jan de Boer (Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart, Deutschland) erfolgreich übernommen. Die Struktur des Tasks gestaltete sich folgendermaßen:

- Subtask A: Anforderungen aus Sicht der Benutzer:innen
Leitung: Barbara Szybinska Matusiak, Norwegen
- Subtask B: Integration und Optimierung von Tages- und Kunstlicht
Leitung: Marc Fontoynt, Dänemark
- Subtask C: Planungsunterstützung für Anwender:innen
Leitung: David Geisler-Moroder, Österreich
- Subtask D: Labor- und Feldstudien
Leitung: Niko Gentile, Schweden und Werner Osterhaus, Dänemark
- Joint Working Group: Bewertungstool und VR Entscheidungshilfe
Leitung: Marc Fontoynt, Dänemark und Jan de Boer, Deutschland

Abbildung 5: Struktur des IEA SHC Task 61 / EBC Annex 77.



Das Ziel von **Subtask A** war die Sammlung und Zusammenführung des verfügbaren Wissens über Nutzer:innen-, aktivitäts- und zeitabhängige Anforderungen in Hinblick auf visuelle und nicht-visuelle Kriterien wobei auch kulturelle und klimatische Randbedingungen berücksichtigt wurden. Daraus sollen Szenarien spezifischer Anwendungsfälle abgeleitet werden, die typische zeitliche Abläufe in der Nutzung dieser unterschiedlichen Innenraum-Situationen widerspiegeln. Die Zusammenführung in sogenannte „Personas“ repräsentiert das Verhalten einer hypothetischen Gruppe von Nutzer:innen in den definierten Anwendungen. Subtask A gliederte sich in drei Work Items:

- A.1. Anforderungen der Benutzer:innen
- A.2. Anwendungsprofile
- A.3. Darstellung des Verhaltens von Nutzer:innen – Personas

Ziel von **Subtask B** war es, vielversprechende technische Lösungen zu identifizieren, die eine optimale gemeinsame Steuerung von Kunstlicht- und Tageslichtkomponenten ermöglichen. Im Vordergrund stand hier ein minimaler Stromverbrauch für das Kunstlicht, maximale Zufriedenheit der Benutzer:innen und zusätzlich eine möglichst attraktive Bedienoberfläche (mit Fokus auf End-User und Facility Manager). Subtask B war dabei in fünf Work Items unterteilt:

- B.1. Interviews mit Experten:innen: Möglichkeiten und Hürden
- B.2. Kritische Prüfung existierender Steuerungssysteme und deren Funktionalität
- B.3. Trends und neue Systeme
- B.4. Kritische Analyse von Schnittstellen
- B.5. Verbindung zu Standardisierungen und Normen

Die beiden Aktivitäten „B.3. Kritische Überprüfung neuer Ansätze“ und „B.4. Übersicht über kritische Aspekte der Effizienz von Steuerungen“ gemäß dem ursprünglichen Arbeitsplan wurden in Abstimmung im Konsortium des Subtask B zum neuen Work Item B.3. „Trends und neue Systeme“ zusammengelegt.

Ziel von **Subtask C** war es, die Umsetzung und Anwendung technischer Innovationen im Bereich integraler Tages- und Kunstlichtlösungen durch Planer:innen und Designer:innen in ihrer täglichen Arbeit zu fördern. Dazu mussten Möglichkeiten geschaffen werden, durch die Anwender:innen einen einfachen Zugang zu diesen neuen Technologien finden und sie in ihren typischen Arbeitsabläufen integrieren können. Dies erfolgte durch die Integration neuer Methoden in weit verbreitete Softwaretools für Lichtplaner:innen, die Vorbereitung und Ausarbeitung von Normen sowie die Erstellung von Empfehlungen für Arbeitsabläufe und Charakterisierungsschemata für Tageslichtsysteme. Subtask C gliederte sich dafür in vier Work Items:

- C.1. Analyse von Arbeitsabläufen in der Planung
- C.2. Standardisierung der Charakterisierung von Tageslichtsystemen mit BSDFs
- C.3. Spektrale Himmelsmodelle für neuartige Tageslichtsimulationen
- C.4. Stündliches Bewertungsverfahren für ganzheitliche Lösungen

Das Ziel von **Subtask D** war die Demonstration und Bewertung umgesetzter Konzepte integraler Tages- und Kunstlichtlösungen. Anhand eines eigens ausgearbeiteten Monitoringprotokolls wurden

diese Untersuchungen sowohl in kontrollierter Umgebung in Forschungslabors, in Experimentalumgebungen in „Living Labs“, als auch in umgesetzten Projekten im Realbetrieb durchgeführt. Subtask D war dafür in vier Work Items unterteilt:

- D.1. Literaturrecherche: Quantifizierung möglicher Energieeinsparungen
- D.2. Monitoringverfahren
- D.3. Fallstudien: „Living Labs“ und reale Gebäude
- D.4. Schlussfolgerungen – Empfehlungen für Entscheidungsträger:innen

Die **Joint Working Group** führte wesentliche Erkenntnisse aus allen Subtasks zusammen, um eine gezielte Verbreitung der konsolidierten Projektergebnisse zu ermöglichen. Dazu wurden die jeweiligen Teile aus den einzelnen Bereichen als Input bereitgestellt um daraus ein stundenbasiertes Bewertungsverfahren für integrale Beleuchtungslösungen zur Umsetzung in Normen und Simulationstools sowie Beispiele für eine digitale Entscheidungshilfe zu erarbeiten. Die Joint Working Group umfasste daher folgende zwei Work Items:

- JWG.1. Bewertungsmethode für ganzheitliche Beleuchtungslösungen
- JWG.2. Virtual Reality Entscheidungshilfe für ganzheitliche Beleuchtungslösungen

Im österreichischen Teilprojekt lag ein Schwerpunkt auf den Themen aus dem Subtask C „Planungsunterstützung für Anwender:innen“, der auch im internationalen Task von Bartenbach geleitet wurde. Dadurch konnte eine starke Präsenz von Österreich im internationalen Task und damit allgemein im Bereich der Beleuchtungslösungen gezeigt werden. Inhaltlich war Bartenbach als Vertretung Österreichs an allen Inhalten des Subtask C leitend (Analyse der Arbeitsabläufe und Softwaretools sowie Charakterisierung von Tageslichtsystemen) oder wesentlich beitragend (gesamtheitliches Bewertungsverfahren) beteiligt. Ein weiterer Schwerpunkt im österreichischen Teilvorhaben lag auf Subtask B, zu dem vor allem durch die Expertise von HELLA relevante und notwendige Beiträge zu allen Work Items aus Sicht der Industrie eingebracht werden konnten. Darüber hinaus beschäftigte sich das österreichische Teilprojekt mit der Analyse von Benutzer:innen-Anforderungen an integrale Lichtlösungen insbesondere im Büro-Kontext sowie mit dem umfangreichen Monitoring einer umgesetzten Tages- und Kunstlichtlösung im Living Lab im F&E-Büro bei Bartenbach. Die Ergebnisse konnten ebenso in den internationalen Task eingebracht werden (zu A.1., D.2., D.3. und JWG.2.) wie auch die Expertise und eigene Entwicklungen im Bereich der Tageslichtsimulation (zu JWG.1.).

5 Ergebnisse

5.1. Anforderungen von Nutzer:innen an integrale Tages- und Kunstlichtlösungen

Nutzer:innen spielen für die Funktionalität integraler Tages- und Kunstlichtlösungen und deren Steuerung eine zentrale Rolle. Werden Erwartungen und Präferenzen nicht entsprechend abgebildet, erfolgt ein manueller Eingriff in das System, wodurch die geplante Systemwirkung nicht erfolgen kann. Ist ein manueller Eingriff nicht möglich, resultiert das unweigerlich in Unzufriedenheit und Ablehnung des Systems. Um die Nutzer:innen bestmöglich zu berücksichtigen, wurden die Anforderungen an den visuellen Komfort und an die nicht-visuellen Lichtwirkungen ausgearbeitet und gemeinsam mit den speziellen Anforderungen und Erkenntnissen aus Living-Lab Studien im Büro-Kontext zusammengefasst.

Zur Thematik der nicht-visuellen Lichtwirkungen wurde speziell der seit einiger Zeit vielbeachtete WELL Building Standard analysiert (<https://standard.wellcertified.com/light/circadianlightingdesign>). Die darin zum Thema „Circadian Lighting Design“ vorgeschlagenen Kenngrößen und Richtwerte wurden mit den Erfahrungen bei Bartenbach aus Planungs- und Wahrnehmungsprojekten abgeglichen und konsolidiert. Die Anforderung an die Anpassbarkeit von Beleuchtungslösungen wurde aus Umfrageergebnissen ausgewertet. So zeigt sich etwa, dass im Büro-Umfeld eine komplett adaptive Beleuchtung gewünscht wäre, und bei Priorisierung der einzelnen Bereiche die Steuerung der Helligkeit an erster Stelle liegt.

Abbildung 6: Anforderung aus Umfrageergebnissen an die Anpassbarkeit von Beleuchtungslösungen.



Insgesamt wurden die Anforderungen der Nutzer:innen an Beleuchtungsanlagen zusammengefasst und für unterschiedliche Anwendungsbereiche und Anforderungsklassen (Standard, mittel, hoch) getrennt aufbereitet. Hier wurden auch die speziellen Anforderungen und Erkenntnisse aus Living-Lab Studien im Büro-Kontext eingearbeitet. Exemplarisch wird nachfolgend ein Auszug aus der Anforderungsliste für die Büroanwendung gezeigt.

Tabelle 1: Auszug aus den Anforderungen an Beleuchtungssysteme im Anwendungsfall Büro

| Parameter | Measure | Standard | Parameter | Measure | Standard |
|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| workplace illuminance | mean E_h | ≥ 500 lux | shadiness | light source is covered with diffusor panel or luminaire emits additional diffuse light | x |
| workplace illuminance homogeneity | U_0 ($E_{min}:E_{mean}$) | $\geq 0,6$ | multishadows | mean illuminance at surface level | ≥ 100 lux |
| movement area illuminance | mean E_h | ≥ 300 lux | illuminances of walls, ceiling, floor | LENI (kWh/m ² a): P(load)=15W / 20W / 25W | x |
| movement area illuminance homogeneity | U_0 ($E_{min}:E_{mean}$) | $\geq 0,5$ | energy efficiency of lighting system | lumen/Watt | x |
| workplace colour rendition | CRI (additional R_{12}) | ≥ 80 | efficacy (output of luminaire) | risk group classification | x |
| ambient colour rendition | CRI (additional R_{12}) | ≥ 80 | photobiological safety | melanopic daylight equivalent lux [EML]/circadian stimulus [Cs] | x |
| glare | UGR | ≤ 19 | non-visual effect of light (daytime work) | $I = (L(90\% \text{ Percentile}) / L(10\% \text{ Percentile})) / L(\text{average})$ | x |
| | max. luminance at $\gamma > 60^\circ$ | ≤ 3000 cd/m ² | homogeneity of light-emitting surface | space-dependent (dE, DE2000, McAdams) | x |

Die im österreichischen Projekt erarbeiteten Ergebnisse wurden als Input für die Recherche im internationalen Task bereitgestellt. Hier wurde der Frage nachgegangen, ob trotz der enormen technologischen Entwicklung der letzten Jahre, die es ermöglicht, bei niedrigerem Energieverbrauch mehr Beleuchtung zur Verfügung zu stellen, die Qualität des Lichts dennoch hohe Qualität aufweist. Um dies zu beurteilen, müssen Bewertungsmethoden entwickelt werden, die alle qualitativen Aspekte der Beleuchtung sowie die Energieeffizienz gleichzeitig berücksichtigen. Im Zuge der umfangreichen Recherche wurden die wesentlichen Nutzer:innen-Anforderungen an die Beleuchtung gesammelt und analysiert. Diese konnten in vier Hauptkategorien mit insgesamt 28 Unterkriterien eingeteilt werden. Die vier Hauptkategorien sind:

- Wahrnehmung von Licht (visuelle Leistungsfähigkeit, kulturelle Unterschiede, etc.)
- Visueller Komfort (Blendung, Flimmern, Kontrast, etc.)
- Psychologische Aspekte (empfundene Raumqualität, Privatsphäre, Ausblick, etc.)
- Nicht-visuelle Lichtwirkungen (Auswirkung auf Hormone, Wirkspektrum retinaler Ganglienzellen ipRGCs, Zeitpunkt einer Lichtstimulation, etc.)

Mit diesen Kriterien für visuelle und nicht-visuelle Lichtwirkungen wurde die Möglichkeit geschaffen, die Qualitäten unterschiedlicher integraler Lichtlösungen mit Tages- und Kunstlicht zu vergleichen.

Die Ergebnisse wurden im Bericht T61.A.1 zusammengefasst und veröffentlicht (vgl. Kapitel 5.6).

5.2. Integration und Optimierung von Tages- und Kunstlicht

5.2.1. Befragung von Fachleuten: Möglichkeiten und Hindernisse

In acht Ländern wurde eine Umfrage zum Status quo von Tageslicht- und elektrischen Lichtsteuerungssystemen durchgeführt. Das Feedback von mehr als 100 internationalen Expert:innen (Gebäude- / Facility Manager:innen und Planer:innen) wurde ausgewertet. Ziel der Umfrage war es, die Wahrnehmung der verschiedenen Möglichkeiten der aktuellen Lichtsteuerungslösungen und die Erwartungen an die Steuerungssysteme zu ermitteln.

Die Umfrage umfasste fünf allgemeine Themen: Energie, Betriebsaspekte, Nutzer:innen-Kontrolle, Nutzer:innen-Komfort und Steuerungsfunktionalität. Die beiden Hauptgründe für die Einführung von Lichtsteuerungssystemen sind die beiden Möglichkeiten:

- den Verbrauch an elektrischer Beleuchtung zu reduzieren und
- das Wohlbefinden der Nutzer:innen zu steigern und dadurch die Beschwerden der Nutzer:innen zu reduzieren.

Das ausgewertete Feedback zeigt unter anderem, dass die Zufriedenheit mit den Lichtverhältnissen im Allgemeinen steigt, wenn manuelle Übersteuerungsmöglichkeiten angeboten werden. Die Nutzer:innen sollten die Möglichkeit haben, das Beleuchtungs- und Belichtungsniveau anzuheben, zu dimmen oder ganz auszuschalten - also sowohl die Leuchten als auch Tageslichtsysteme manuell zu steuern.

Ein Steuerungssystem, das für die Benutzer:innen leicht und intuitiv zu verstehen ist, wird die Chancen einer „optimalen“ Interaktion mit dem System höchstwahrscheinlich erhöhen. Wenn das System nicht den Bedürfnissen der Benutzer:innen entspricht oder unverständlich komplex ist, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass die Benutzer:innen versuchen, die Kontrollsysteme außer Kraft zu setzen, was höchstwahrscheinlich zu einem erhöhten Energieverbrauch führt.

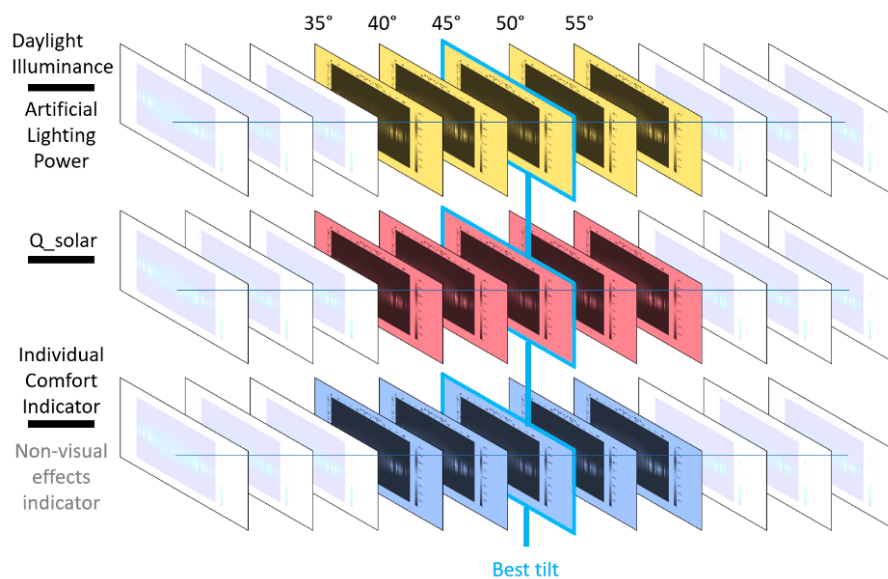
Die Ergebnisse wurden im Bericht T61.B.1 zusammengefasst und veröffentlicht (vgl. Kapitel 5.6).

5.2.2. Kritische Überprüfung bestehender Steuersysteme und ihrer Funktionalitäten

Es gibt eine große Anzahl von Steuerungssystemen, die entweder von Beleuchtungsfirmen oder Motorherstellern für Beschattungssysteme angeboten werden. Darüber hinaus gibt es viele andere Lösungen, die von herstellenden Firmen von Gebäudemanagementsystemen (BMS) oder von Komponenten, die in Leuchten und Schaltern sowie in der Architektur der elektrischen Beleuchtung (Transformatoren, Internet-Gateways, Sensoren, usw.) angeboten werden.

Im Projekt wurden die Prinzipien der Steuerung, die relativ unabhängig vom Fortschritt der Technologie kaum evolvieren, dokumentiert. Hier wurde durch Auflistung und Erläuterung der wichtigsten Funktionen und Komponenten von Steuerungssystemen ein Überblick über die technischen Möglichkeiten und Herausforderungen erstellt. Die Bedeutung des Sonnenprofilwinkels („eps“ in Abbildung 7) für die Cut-Off Funktion von lamellenartigen Behängen wurde betont.

Abbildung 8: Tagesbelichtung, solarer Eintrag und nicht-visuelle Indikatoren pro Winkelstellung und Zeitschritt (Bild: HELLA)



Die Ergebnisse wurden im Bericht T61.B.3 zusammengefasst und veröffentlicht (vgl. Kapitel 5.6).

5.2.4. Kritische Analyse der Schnittstellen

Dieses Projekt hat gezeigt, dass eine gut gestaltete Benutzeroberfläche (UI) nicht nur die Akzeptanz und den Komfort der Benutzer:innen positiv beeinflusst, sondern auch ein wichtiger Schlüssel zur Energieeinsparung ist. Mindestens ebenso wichtig für die Effektivität der Qualität einzelner Schnittstellen ist die Konsistenz einzelner Elemente der Benutzer:innen-Oberfläche (visuell, konzeptionell, auditiv, etc.). Das Energie-Management kann versteckt eingebettet sein, um das Schlüsselement, die Optimierung des Systems, den Benutzer:innen auf intuitive und attraktive Weise zu erklären. Das Verständnis der Funktionsweise ermöglicht es den Nutzer:innen, das System zu verstehen und zu interagieren.

Beginnend mit den grundlegenden Kategorien von Beleuchtungsschnittstellen (analog, digital und hybrid), und über die verschiedenen Funktionen bis hin zu komplexeren und selbstlernenden Lösungen, wird grundlegendes Verständnis zu Schnittstellen in der Beleuchtungs- und Beschattungssteuerung vermittelt. Damit gibt er einen Überblick über die aktuellen Trends und Lösungen auf dem Markt, sowohl für Profis als auch für Nicht-Profis. Zu den wichtigsten Trends, die identifiziert wurden, gehören:

- Die Möglichkeit, die grafische Oberfläche an die Bedürfnisse der Nutzer:innen anzupassen
- Die Synchronisierung mit dem globalen Gebäudemanagementsystem
- Attraktive vorprogrammierte Optionen vorzuschlagen (oder zu empfehlen)
- Die Entwicklung von Schnittstellen, die Benutzer:innen „erziehen“: Er/sie muss die Konsequenzen seiner/ihrer Entscheidungen verstehen.
- Verwendung von Standard-UI-Elementen, um den Benutzer:innen das grundlegende Verständnis der Schnittstelle zu erleichtern
- Sicherheit

Abbildung 9: User Interface der HELLA Steuerung ONYX (Bild: HELLA)



5.2.5. Verknüpfung mit Normungsaktivitäten

Die beiden Bereiche „Steuerung des Tageslichts“ und „Steuerung der elektrischen Beleuchtung“ werden in Normen in aller Regel nicht integral betrachtet, was die Frage aufwirft, ob es möglich ist, das vorhandene Wissen und die Technologie zu kombinieren. Eine umfassende Norm oder Richtlinie könnte erstellt werden, die die Integration der beiden Bereiche berücksichtigt. In diesem Zusammenhang wurden im Rahmen des Projekts die wichtigsten zu behandelnden Fragen ermittelt:

- Blockierung des Sonnenlichteinfalls zur Verringerung von Blendung, Überhitzung und thermischem Unbehagen, während gleichzeitig der Energieverbrauch steigt, um das Beleuchtungsniveau mit elektrischer Beleuchtung zu kompensieren.
- Manuelle Übersteuerung der Systeme je nach Präferenz der Benutzer:innen im Widerspruch mit den automatischen Systemen, die die effizientesten Einstellungen für die Gebäudeleistung festlegen.
- Vereinfachung der Bedienung zur Schaffung Benutzer:innen-freundlicher (und vor allem) tatsächlich genutzter Systeme.

Das Projekt spiegelte auch zusätzliche Themen wider, die bei Standardisierung integrierter Beleuchtungssteuerungen eine Herausforderung darstellen: Sicherheit, Berechnungsverfahren und Schnittstellen.

Die Ergebnisse wurden im Bericht T61.B.5 zusammengefasst und veröffentlicht (vgl. Kapitel 5.6).

5.3. Planungsunterstützung für Anwender:innen

5.3.1. Workflows und Software für die Planung von integralen Beleuchtungslösungen

Für die Planung integraler Lösungen für Tageslicht, Kunstlicht und Lichtsteuerung verwenden Anwender:innen eine Vielzahl unterschiedlicher Workflows, Methoden und Werkzeuge. Lichtplanungsprojekte umfassen nicht nur eine Vielzahl von Anwendungen mit unterschiedlichen Anforderungen, sondern auch verschiedene Projektarten und -größen. In einem dreistufigen Prozess wurden gängige Arbeitsabläufe analysiert.

Zunächst wurden drei Gebäude in Österreich, Deutschland und China als repräsentative Projekte mit integralen Lichtlösungen ausgewählt und dokumentiert. Als österreichisches Beispiel wurde das F&E-Gebäude bei Bartenbach analysiert und aufbereitet. Das Büro ist als Living Lab umgesetzt und eignet sich dadurch besonders, um neuartige Konzepte zur Integration von Tageslicht, Kunstlicht und innovativer Steuerung zu evaluieren.

Abbildung 10: Dokumentation des F&E Gebäude bei Bartenbach (Living Lab) als beispielhaftes Planungsprojekt mit integrierter Tages- und Kunstlichtlösung und Steuerung. (Bild: Bartenbach)



Im zweiten Schritt wurden anhand dieser drei exemplarischen Planungsprojekte typische Arbeitsabläufe für den Planungsprozess gesammelt und gegenübergestellt. Diese Workflows decken dabei eine breite Palette von Ansätzen ab, von normativen (ISO 16817) oder von der LiTG vorgeschlagenen Abläufen über rein simulationsbasierte Methoden (DIAL, Fener) bis hin zu Beispielen aus der Praxis der Lichtplanung (Bartenbach, Estia, InformDesign, Norconsult). Da alle beschriebenen Arbeitsabläufe Softwaretools zur Unterstützung des Planungs- und Entwurfsprozesses einsetzen, wurde im dritten Schritt eine Übersicht über den Stand der Technik bei Lichtsimulationen erstellt und die Möglichkeiten, Stärken, Schwächen und Barrieren in deren Anwendung dokumentiert. Diese Analyse beinhaltet einen tabellarischen Vergleich der wichtigsten Merkmale relevanter und weit verbreiteter Software-Tools.

Tabelle 2: Auszug aus dem Vergleich der Software Tools zur Planungsunterstützung integraler Lichtlösungen.

| | Applies to Software + = yes, o = partly, -- = no | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------|-------|--------|-------|----------------|-------|---------------|--------------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | AGI32 | ElumTools | DALEC | DIALux | DIAL+ | DIVA-for-Rhino | FENER | GB SWARE Dali | Ladybug / Honeybee | PKPM | Radiance | RELUX | Remarks / explanations |
| GENERAL INFORMATION | | | | | | | | | | | | | |
| Graphical user interface | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | -- | + | |
| Command line interface | -- | -- | -- | -- | -- | -- | + | -- | -- | -- | + | -- | |
| CAD Import | + | + | -- | + | -- | + | -- | + | + | + | + | + | |
| 3D Modeling | + | + | -- | + | + | + | -- | + | + | + | o ¹¹ | + | 11: some tools to create and collect geometry |
| 3D Rendering | + | + | -- | + | -- | + | -- | + | + | + | + | + | |
| Scripting | -- | -- | -- | -- | -- | + | + | + | + | -- | + | -- | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| USERS | | | | | | | | | | | | | |
| Suited for lighting designers | + | + | + | + | + | + | + | + | -- ⁹ | -- ¹⁰ | + | + | 9,10: further development of tools and methods used for lighting design are planned for the future |
| Suited for architects | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | |
| Suited for electric engineers | + | + | + | + | + | -- | -- | + | -- | -- | -- | + ¹² | 12: with the add-on "ReluxCAD for Revit" in Revit for BIM projects |
| Suited for HVAC engineers | -- | -- | + | -- | -- | -- | -- | + | + | + | -- | + ¹² | 12: with the add-on "ReluxCAD for Revit" in Revit for BIM projects |
| Suited for building engineers/planners | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | -- | + | |
| Suited for researchers | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| DESIGN PHASE | | | | | | | | | | | | | |
| Suited for early design | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | |
| Suited for detailed design | + | + | -- | + | + | + | -- | + | + | + | + | + | |

Die Ergebnisse wurden im Bericht T61.C.1 zusammengefasst und veröffentlicht (vgl. Kapitel 5.6).

5.3.2. Charakterisierung von Tageslichtsystemen mittels BSDFs

In diesem Arbeitspaket lag der Fokus darauf, den aktuellen Stand der Technik im Bereich der Charakterisierung von Tageslicht- und Beschattungssystemen durch bidirektionale Streuverteilungsfunktionen (bidirectional scattering distribution functions, BSDFs) zusammenzufassen, methodische Ansätze zu vergleichen, eine Qualitätssicherung durchzuführen und den Weg für eine zukünftige Standardisierung von BSDF-basierten Simulationsmethoden vorzubereiten. Zunächst wurden die Grundlagen der BSDF-Charakterisierung dokumentiert und unterschiedliche Ansätze der Diskretisierung verglichen. In weiterer Folge wurden Matrizen zu den Anforderungen für BSDF-Daten und deren Anwendung für verschiedene Systemklassen erarbeitet. Dabei zeigte sich, dass es wesentliche Unterschiede und damit verbundene Anforderungen je nach Art der Systeme gibt (z.B. Lamellensysteme, Blendschutzscreens, Umlenkssysteme oder mikro- und nanostrukturierte Elemente).

Abbildung 11: Messgeräte bei Bartenbach zur Charakterisierung von Tageslichtsystemen: BSDF Messgerät Mini-Diff (links), künstliche Sonne (Mitte), Ulbrichtkugel (rechts). (Bilder: Bartenbach)



Abbildung 12: Vorschlag zur Erzeugung von BSDF Daten (Quelle: Bartenbach)

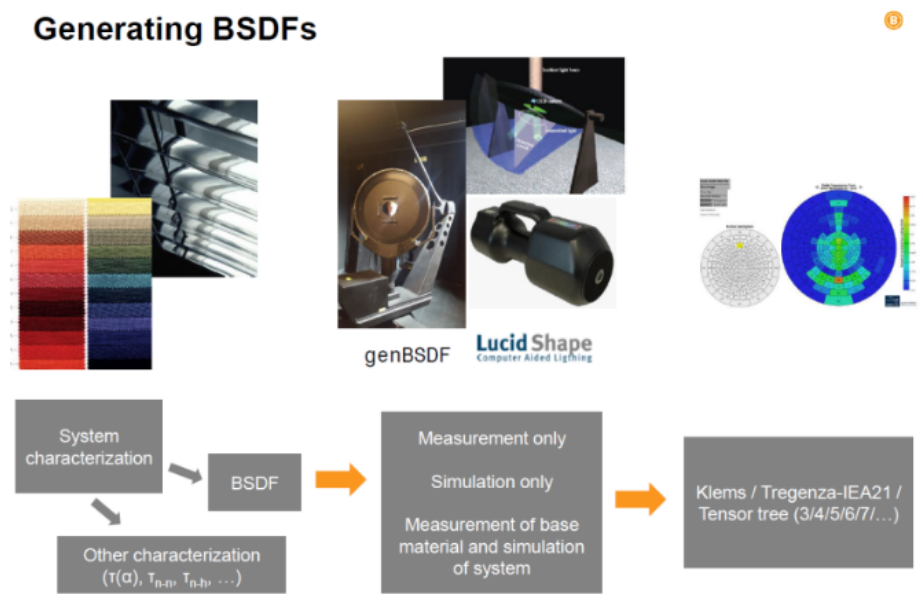


Tabelle 3: Auszug aus den Empfehlungen für die Anwendung der Daten

| Daylighting Performance Metric | Example simulation method | Proposed system characterization (model or BSDF resolution) |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Daylight Factor | Raytracing with continuous sky model; possibly <i>mkillum</i> | Geometry or Low-resolution BSDF |
| Point-in-time illuminance for overcast / sunny sky | Raytracing with continuous sky model; BSDF peak extraction | Low-resolution BSDF |
| Point-in-time glare metric for overcast / sunny sky | Raytracing with continuous sky model; BSDF peak extraction (specular transmission); photon mapping (specular transmission and reflection) | High-resolution BSDF |
| Point-in-time rendering for overcast / sunny sky | Raytracing with continuous sky model; BSDF peak extraction | High-resolution BSDF or low-resolution BSDF with peak extraction |
| Annual illuminance metric | DC-method or 3PM | Low-resolution BSDF |
| Annual glare metric | 5PM; BSDF peak extraction | Low-res. BSDF for 3PM part, high-res. BSDF for accurate direct part |

Auf Basis der erarbeiteten Inhalte wurde ein White Paper zur Erstellung von BSDF-Daten für Tageslichtsysteme und Empfehlungen zur Verwendung derselben verfasst. Das Dokument beschreibt eine einheitliche Vorgehensweise für Messung und Simulation zur Charakterisierung von Tageslichtsystemen und enthält eine Analyse der Anforderungen im Beziehungsdreieck „Systemklasse – Anwendung – Datenauflösung“. Dieses Dokument soll in weiterer Folge als Grundlage für normative Festlegungen dienen.

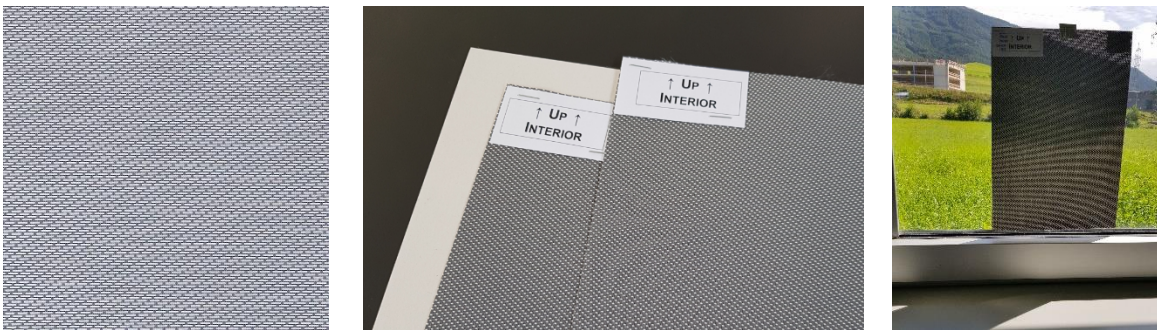
Darüber hinaus wurden die aktuell an unterschiedlichen Instituten angewandten Methoden zur Erstellung von BSDF-Daten analysiert und dokumentiert. Weltweit bieten einige Institute den Service an, BSDF-Daten für solche Fenstersysteme zu messen und zu simulieren. Ziel war es, die Vor- und Nachteile der verschiedenen Ansätze aufzuzeigen und einen Überblick über die verwendeten Messinstrumente und Simulationssoftware zu geben.

Schließlich wurde ein Ringversuch unter den Projektteilnehmern durchgeführt. Ziel war es, die Vergleichbarkeit von BSDF-Datensätzen, die von den verschiedenen Labors für dasselbe Beschattungs- oder Tageslichtsystem erzeugt werden, zu beurteilen. Darüber hinaus – und für die praktische Anwendung in der Tageslichtplanung noch wichtiger – wurde die Vergleichbarkeit der auf diesen Daten basierenden Tageslichtsimulationen untersucht. Es wurden ein außenliegendes Jalousiesystem und ein innenliegendes Textilrollo ausgewählt, da diese Systeme weit verbreitete Beschattungs- und Blendschutzlösungen repräsentieren. Für den Round Robin Test wurden von HELLA Muster eines Lamellensystems sowie des Grundmaterials für alle Projektpartner:innen zur Verfügung gestellt (Abbildung 13). Die Projektpartner:innen im internationalen Task vom Lawrence Berkeley National Laboratory organisierten Muster der Firma MechoShade für das Textilrollo (Abbildung 14).

Abbildung 13: Muster der HELLA Außenjalousie ARB80 für den Rundversuch. Produktbild (links; Bild: HELLA), Testmuster der Lamellen (Mitte), Muster des Grundmaterials (rechts). (Bilder Mitte und rechts: Bartenbach)



Abbildung 14: Muster des MechoShade Textil-Rollos für den Rundversuch. Produktbild der Außenseite (links; Bild: MechoShade Systems, LLC.), Innenseite der Testmuster (Mitte), Testmuster im Fenster (rechts). (Bilder Mitte und rechts: Bartenbach)



Bartenbach koordinierte den Round Robin Test, brachte selbst Mess- und Simulationsdaten in den Vergleich ein und führte die vergleichenden Auswertungen aller Datensätze durch. Das Gesamtergebnis des Vergleichs zeigt eine gute Übereinstimmung zwischen den von den verschiedenen Labors bereitgestellten BSDF-Datensätzen (vgl. Abbildung 15 bis Abbildung 17).

Abbildung 15: Auswertung der HELLA ARB 80 Klems BSGF Datensätze: hemisphärisch-hemisphärischer Transmissionsgrad τ_{h-h} sowie direkt-hemisphärischer τ_{x-h} und direkt-direkter τ_{x-x} Transmissionsgrad für ausgewählte Einfallswinkel.

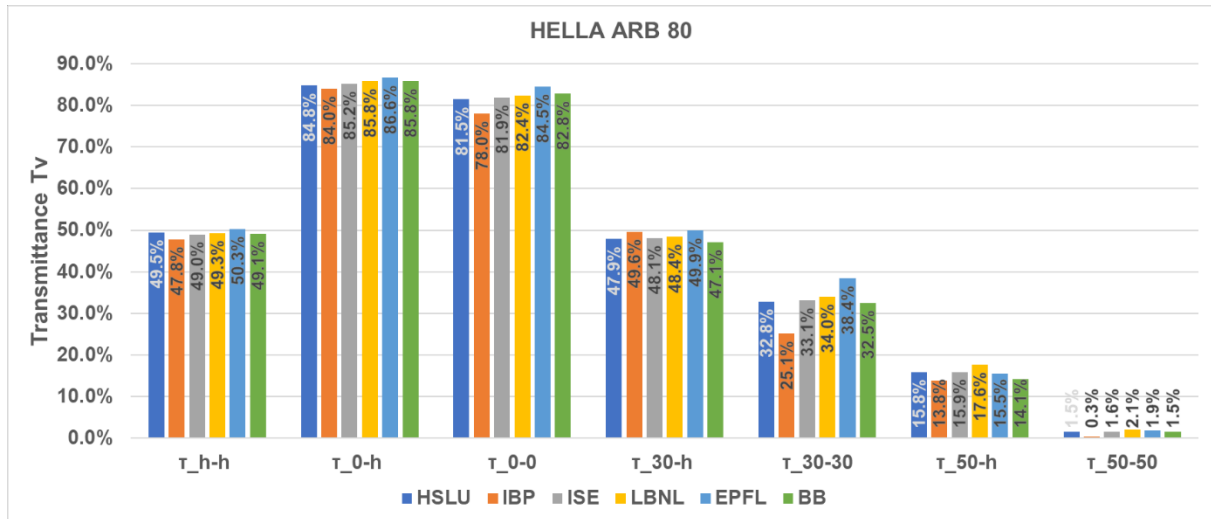


Abbildung 16: Auswertung der HELLA ARB 80 Klems BSGF Datensätze: winkelabhängige Darstellung des hemisphärisch-hemisphärischen Transmissionsgrades τ_{h-h} .

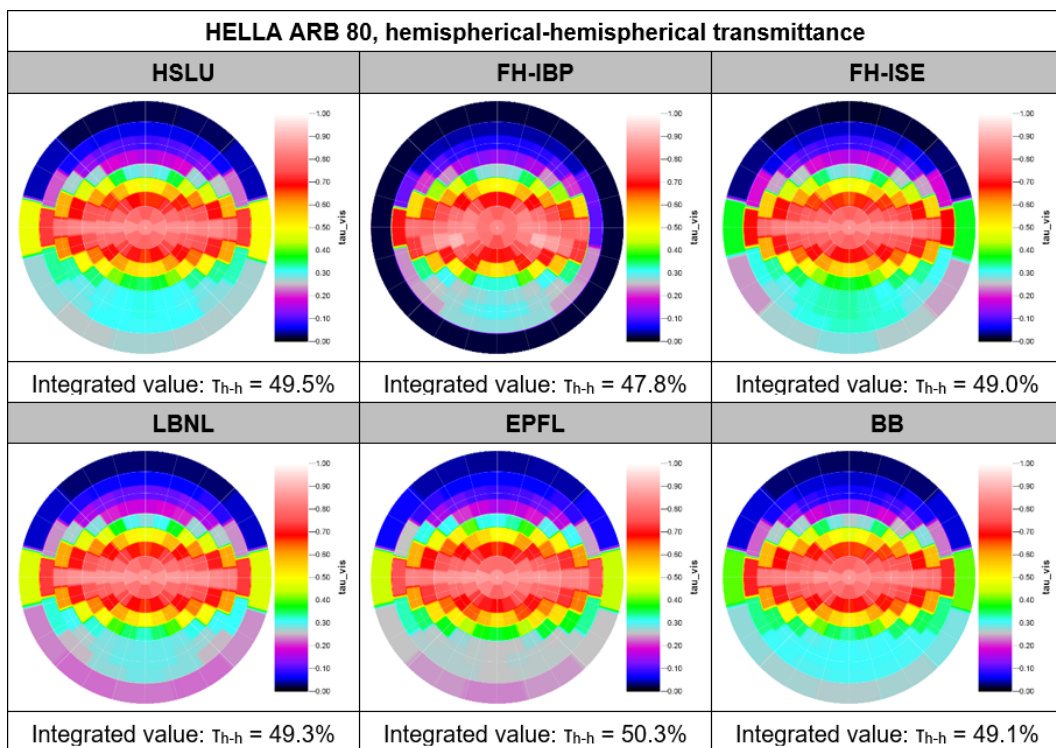
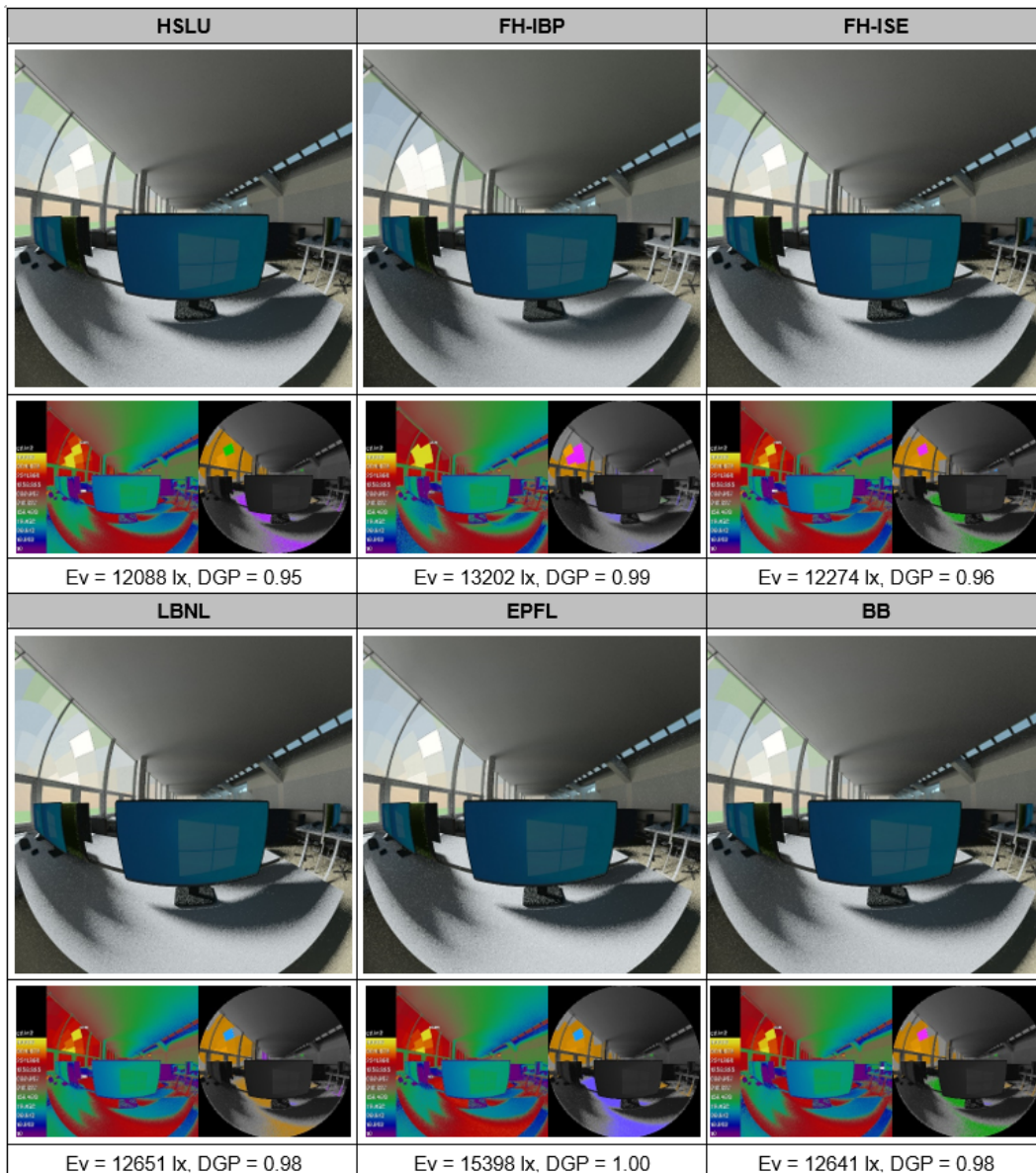


Abbildung 17: Renderings für einen Zeitpunkt mit HELLA ARB 80 BSDF-Datensätzen in Klems Auflösung (ohne Anwendung der Peak-Extraktionsmethode). (Bild: Bartenbach)



Das White Paper wurde als Bericht T61.C.2.1 publiziert, die Ergebnisse der Evaluierung der Methoden und des Round-Robin Tests wurden im Bericht T61.C.2.2 zusammengefasst und veröffentlicht (vgl. Kapitel 5.6).

5.3.3. Spektrale Himmelsmodelle für fortgeschrittene Tageslichtsimulationen

Das Projekt befasste sich auch mit dem aktuellen Stand der Technik auf dem Gebiet der spektralen Messung von Tageslicht sowie spektraler Himmelsmodelle für die Tageslichtsimulation. Dafür wurden folgende Übersichten erarbeitet:

- Standorte, die spektrale Tageslicht-Messungen durchführen
- Verfügbare spektrale Himmelsmodelle
- Simulationssoftware zur Unterstützung spektraler Berechnungen

Der erste Teil des Projekts konzentrierte sich auf zwei unterschiedliche Messansätze: räumlich aufgelöste (Strahldichte) und globale (Bestrahlungsstärke) Spektralmessungen. Die Messaktivitäten an verschiedenen Standorten wurden analysiert, beschrieben und verglichen. Anschließend wurden die bestehenden datengestützten und analytischen Modelle überprüft. Auf dieser Grundlage wurde ein vereinfachtes Modell für praktische Anwendungen vorgeschlagen. Materialeigenschaften in der gebauten Umwelt, einschließlich Verglasungen und opaker Materialien, wurden hinsichtlich ihres spektralen Verhaltens beschrieben. Außerdem wurden mit LARK, ALFA und RADIANCE drei Simulationsplattformen analysiert, die Spektralberechnungen unterstützen. Mit dem Konzept sogenannter „spektraler Tageslichtpotenzialdiagramme“, welche die orientierungsabhängigen spektralen Eigenschaften des Tageslichts an der Fassade darstellen, wurde eine Planungshilfe entwickelt. Zum Work Item der spektralen Himmelsmodelle, das im internationalen Task federführend durch die TU Berlin koordiniert wurde, brachte Bartenbach seine Expertise zu möglichen Berechnungen spektraler Eigenschaften aus reduzierten Daten mit ein.

Die Ergebnisse wurden im Bericht T61.C.3 zusammengefasst und veröffentlicht (vgl. Kapitel 5.6).

5.4. Evaluierung der Performance integraler Lichtlösungen in Labor- und Feldstudien

5.4.1. Ausarbeitung eines umfassenden Monitoringprotokolls

Im Zuge des Vorgängerprojekts (IEA SHC Task 50 „Beleuchtungslösungen für die Gebäudesanierung“) wurde unter intensiver Mitarbeit von Bartenbach ein Monitoringprotokoll für die Sanierung von Beleuchtungsanlagen erstellt. Basierend darauf wurde im internationalen Task 61 ein umfangreich erweitertes Evaluierungsschema für gesamtheitliche Lösungen (Tageslichtsystem, Kunstlichtsystem, integrative Steuerung) ausgearbeitet. Dieses Monitoringprotokoll war in weiterer Folge die Grundlage für die Bewertung der 25 Fallstudien und betrachtete vier wesentliche Aspekte integraler Beleuchtungsanlagen:

- Energieverbrauch (Kunstlichtsystem)
- Visuelle Kriterien (visuelles Umfeld im Innenraum, photometrische Kennzahlen)
- Nicht-visuelle Lichtwirkungen (zirkadianes Potenzial)
- Auswirkungen auf Nutzer:innen

Bartenbach konnte auch hier seine Erfahrungen aus laufenden und abgeschlossenen Forschungs- und Planungsprojekten einbringen um ein umfassendes Monitoringprotokoll zu erstellen, welches alle relevanten Parameter einer ganzheitlichen Lösung abdeckt. Da integrale Beleuchtungsprojekte in Art und Umfang unterschiedlich sind, folgen die im Dokument enthaltenen Methoden und Verfahren keinem starren Protokoll. Vielmehr sollen die Anwender:innen der Methode den Rahmen nutzen, um den Umfang der Post Occupancy Evaluation im Hinblick auf die Ziele des Projekts, den Kontext und die verfügbaren Ressourcen zu definieren. Das Dokument bietet somit einen Werkzeugkasten für die Planung und Durchführung der Evaluierung einer integralen Beleuchtungsanlage.

Das Monitoringprotokoll wurde im Bericht T61.D.2 zusammengefasst und veröffentlicht (vgl. Kapitel 5.6).

5.4.2. Österreichische Fallstudie: Living Lab im Bartenbach F&E-Gebäude

Insgesamt wurden im internationalen Task 25 Fallstudien an 22 Standorten in 12 Ländern evaluiert, die verschiedene Klimazonen auf fünf Kontinenten abdecken. Dabei wurde die Integration von Tages- und Kunstlicht im Hinblick auf Energieverbrauch für die Beleuchtung, den visuellen Komfort, die nicht-visuelle Lichtwirkung und die Zufriedenheit der Nutzer:innen anhand des entwickelten Monitoringprotokolls analysiert. Als österreichische Fallstudie wurde das Living Lab im Bartenbach F&E-Gebäude ausgewählt. Hier wurde eine integrale Tages- und Kunstlichtlösung als Herzstück einer intelligenten Gebäudesteuerung umgesetzt und ermöglicht so eine biologisch aktive Beleuchtung bei gleichzeitig höchstem visuellem Komfort.

Das Bartenbach F&E-Gebäude ist als Living Lab realisiert, hier werden Innovationen im Bereich der Tages- und Kunstlichtlösungen und entsprechende Steuerungsansätze implementiert und getestet. Ein neuartiges Konzept setzt die Beleuchtung in das Zentrum der Gebäudesteuerung und ermöglicht dadurch eine vollständige Integration der Gewerke Tageslicht, Kunstlicht, Heizung und Lüftung. Die Steuerung realisiert ein hohes Maß an Tageslichtintegration bei gleichzeitigem Blend- und

Wärmeschutz. In Kombination mit einer arbeitsplatzzonierte LED-Beleuchtung mit tageszeitabhängiger Farbtemperatur- und Intensitätssteuerung erleben die Nutzer:innen eine Umgebung, die sowohl visuellen Komfort als auch biologisch aktivierende Effekte nach individuellen Präferenzen bietet. Durch die direkte Kopplung mit den Gewerken Heizung und Lüftung werden außerdem die energetischen Vorteile des integralen Konzepts genutzt. „Human Centric Lighting“ wird hier in voller Tiefe umgesetzt.

Im F&E-Bürogebäude von Bartenbach fallen die großen, nach Süden ausgerichteten Fenster zusammen mit den nach Norden ausgerichteten Oberlichtern auf, die für ein hohes Tageslichtniveau im Büro sorgen. Um direkten Sonnenlichteintrag auf den Arbeitsplätzen zu vermeiden, sind außenliegende, statische Tageslichtlamellen installiert, deren Dimension und Struktur speziell für die geografische Lage des Gebäudes optimiert sind. Die Kunstlichtlösung für Arbeitsplätze und Transitzonen wurde mit deckenintegrierten LED-Leuchten realisiert, die mit von Bartenbach entwickelten, patentierten Freiformflächenreflektoren ausgestattet sind. Längsentblendung, asymmetrische Abstrahlcharakteristik und Leuchtenanordnung gewährleisten dabei eine blendfreie und homogene Ausleuchtung der Arbeitsplätze und verhindern die Abschattung der Arbeitsfläche durch die Nutzer:innen. Über Beleuchtungsstärkesensoren und PIR-Sensoren wird das Kunstlicht je nach Tageslichtangebot und Anwesenheit automatisch geschaltet oder gedimmt. Um den individuellen Beleuchtungspräferenzen zu folgen, wurde im Großraumbüro eine Zonierung von Tageslicht und Kunstlichtsystemen realisiert, bei der die jeweils benachbarten Arbeitsplätze zu Arbeitsplatzzonen zusammengeschaltet werden. Zur Unterstützung des menschlichen zirkadianen Systems wird in den Morgenstunden kaltweißes Licht (5.000 K) verwendet, das sich im Laufe des Tages nach einer vordefinierten Regelkurve dynamisch zu wärmeren Farbtemperaturen bis hin zu abendlichem, warmweißem Licht (2.200 K) und niedrigeren Beleuchtungsstärken anpasst. Abbildung 18 zeigt die maximal durch das Kunstlicht in jeder Farbtemperatur zwischen 2.200 K und 5.000 K erreichbaren Beleuchtungsstärken in Abhängigkeit der Raumposition. Diese hohen Beleuchtungsstärken ermöglichen es, individuelle Vorlieben bestmöglich zu bedienen.

Messdaten von mehr als 80 Sensoren sowie die Zustandsinformationen der Aktoren werden über das zentrale Beckhoff Gebäudeleitsystem erfasst und weiterverarbeitet. Dazu gehören u. a. Beleuchtungsstärke und Anwesenheit je Arbeitsplatzzone, Informationen zum Raumklima und der Dimmwert der Beleuchtung. Abbildung 18 zeigt die für die Beleuchtungstechnik relevanten Sensoren und Aktoren. Das Monitoring liefert wertvolle Erkenntnisse, für weitere Auswertungen wurden zusätzlich Tageslichtsimulationen durchgeführt. Die ermittelte durchschnittliche Tageslichtautonomie $DA_{500,8-18}$ von 82 % in Bezug auf die normative Mindestbeleuchtungsstärke von 500 lx (Bezugszeit: 8:00 bis 18:00, Sommerzeit nicht berücksichtigt) zeugt von einer überaus hohen Tageslichtverfügbarkeit im Gebäude. Auf Basis der erhobenen Messdaten wurden u.a. die Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz abgeleitet. Basierend auf den Messdaten wurde der „Lighting Energy Numeric Indicator“ (LENI) gemäß EN 15193 ermittelt (Tabelle 4). Bezogen auf die normative Mindestbeleuchtungsstärke für Bürotätigkeiten von 500 lx (Norm EN12464-1) ergibt sich für die Bürofläche von ca. 200 m² ein Energiebedarf pro Fläche von 3,65 kWh/m²y, dazu kommen noch 1,09 kWh/m²y für die umfangreiche Sensorik inklusive des Embedded PC für die Steuerung. Ohne tageslichtabhängige Steuerung liegt der Referenz-Energiebedarf unter Berücksichtigung des erfassten Anwesenheitsprofils bei 16,5 kWh/m²y.

Abbildung 18: Position der Sensoren und maximal durch Kunstlicht in jeder Farbtemperatur (2.200 K bis 5.000 K) erreichbare Beleuchtungsstärke. (Bild: Bartenbach)

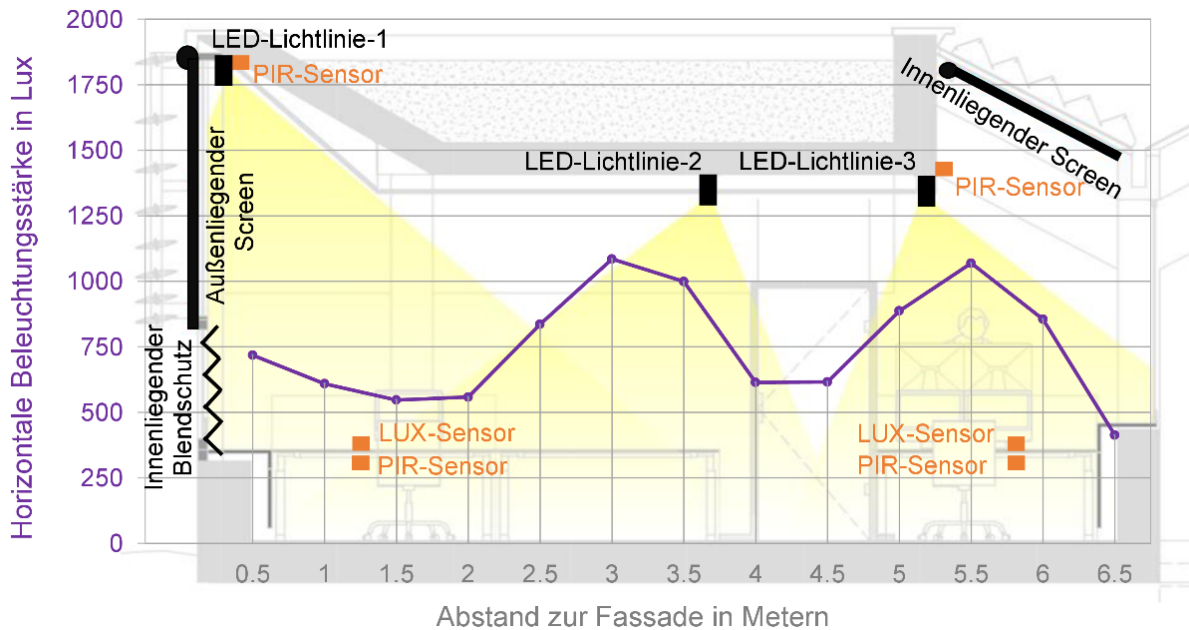
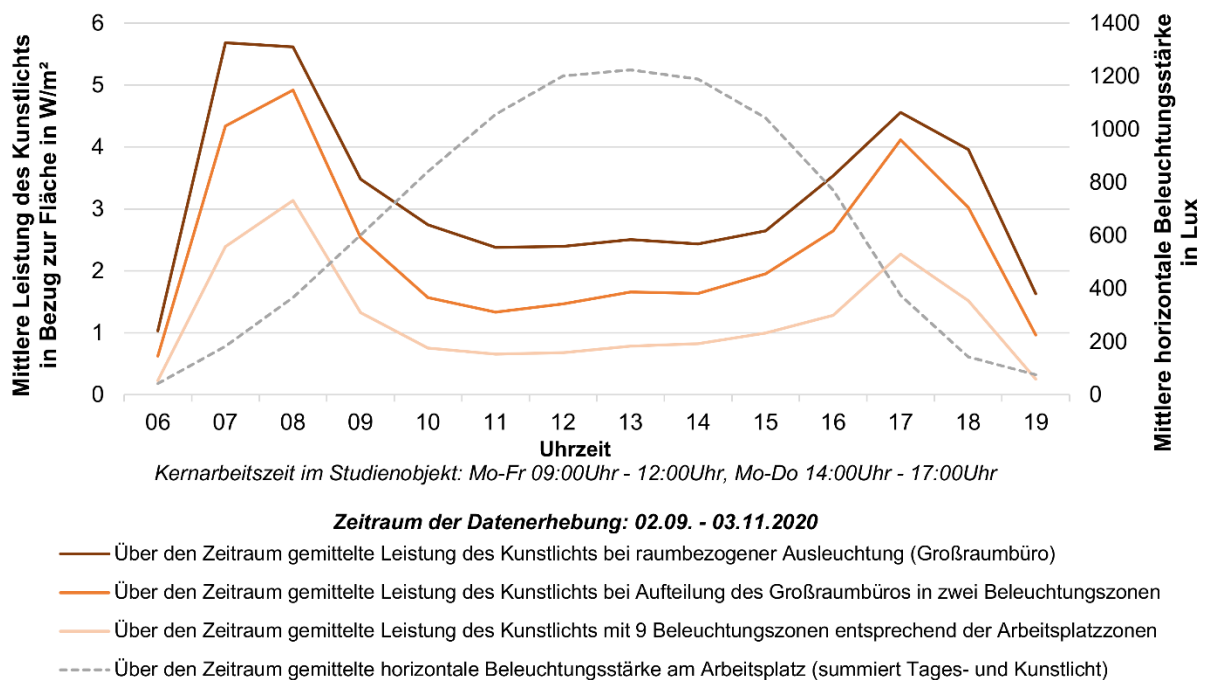


Tabelle 4: LENI-Werte berechnet anhand der Messdaten und für die Referenz.

| | Monitoring | Referenz |
|-----------------------------|-------------|----------|
| LENI [kWh/m ² y] | 3,65 + 1,09 | 16,5 |

Ähnliche Überlegungen gelten für den Einfluss der Anwesenheitssensoren auf den Energiebedarf für das Kunstlicht. Die positiven Auswirkungen der Sensoren auf den Energiebedarf überwiegen also deutlich den eigenen Energiebedarf. Manuelle Übersteuerung des Tages- und Kunstlichtsystems ist möglich, laut Monitoringdaten kommt es sehr selten zu Systemeingriffen durch Nutzer:innen, was von hoher Zufriedenheit zeugt. Um verschiedene Konzepte zu testen und zu bewerten, wurden die Auswirkungen unterschiedlicher Raumzonierungen betrachtet (Steuerung des Großraumbüros als Ganzes; Aufteilung in 2 nach Westen und nach Osten ausgerichtete Arbeitsplatzzonen; 9 Arbeitsplatzzonen). Die Ergebnisse zeigen, dass mit stärkerer Zentrierung auf die Nutzer:innen sowohl eine höhere Systemakzeptanz durch Abdeckung individueller Beleuchtungspräferenzen als auch eine signifikante Reduktion des Energiebedarfs erreicht wird (Reduktion um Faktor 2,6 von Flächenbeleuchtung hin zu Arbeitsplatzzonen, vgl. Abbildung 19).

Abbildung 19: Elektrische Leistung für Kunstlicht für verschiedene Beleuchtungszonierungen, ergänzt durch gemessene tageslichtabhängige Beleuchtungsstärken. (Bild: Bartenbach)



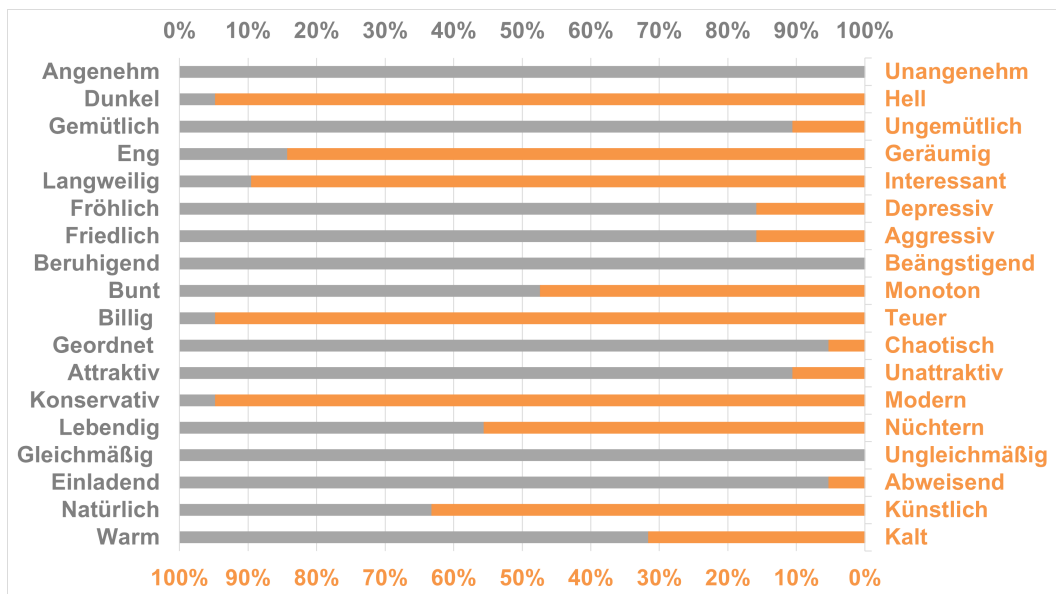
Im gut tagesbelichteten Living Lab entsteht der Kunstlichtbedarf hauptsächlich zu den Tagesrandzeiten. Da diese Zeiten auch hohe Nutzerdynamik aufweisen, ist der Einsatz der Präsenzerkennung ebenfalls von hoher Bedeutung für den energieeffizienten Betrieb. Das Bürokonzept erlaubt eine hohe und effiziente Tageslichtnutzung mit durchschnittlichen horizontalen Tageslichtbeleuchtungsstärken am Arbeitsplatz von über 1.000 lx zur Mittagszeit. Die zusätzlich zu den außenliegenden Sonnenschutzsystemen installierten und verfahrbaren Screens stellen eine blendfreie Bürosituation sicher. Die ausgewogene und helle Tageslichtumgebung beeinflusst das Wohlbefinden und die Produktivität der Gebäudenutzer:innen positiv und wirkt als Regulator für den natürlichen zirkadianen Rhythmus. Auch das Kunstlicht unterstützt durch eine dynamische, an die Tageszeit angepasste, Intensitäts- und Farbtemperaturnachführung (5.000 K bis 2.000 K) diesen Tagesrhythmus. Tabelle 5 zeigt die resultierenden photometrischen und melanopischen Beleuchtungsstärken und das abgeleitete M/P-Verhältnis. Die große Dynamik bestätigt die Wirksamkeit des zirkadianen und Nutzer:innen-zentrierten Ansatzes.

Tabelle 5: Gemessene Farbtemperaturen (CCT), vertikale Beleuchtungsstärken (Ev), melanopische Beleuchtungsstärken (EML), und melanopisch-photopisches Verhältnis (M/P). Referenz EML laut WELL v2: 180 EML summarisch für Tageslicht und Kunstlicht.

| | Daylight, sunny sky, April 16, 11:50 CEST | Daylight, overcast sky, April 19, 12:25 CEST | Electric light, 5000 K @ 500 lx Eh | Electric light, 2200 K @ 500 lx Eh |
|-----|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| CCT | 5451 K | 5317 K | 4095 K | 2174 K |
| Ev | 1647 lx | 901 lx | 190 lx | 190 lx |
| EML | 1558 | 842 | 138 | 66 |
| M/P | 0.946 | 0.935 | 0.726 | 0.347 |

Der hohe Tageslichtanteil in Kombination mit der Nutzer:innen-zentrierten Gestaltung spiegelt sich auch in der persönlichen Wahrnehmung der Lichtatmosphäre wider. Eine Befragung, an der sich 19 Gebäudenutzer:innen (17 männlich, 2 weiblich; Alter 20 bis 60 Jahre) beteiligten, ergab eine sehr hohe Zufriedenheit (Abbildung 20). In einer weiteren Studie an der 16 Gebäudenutzer:innen teilnahmen, ergab, dass eine große Mehrheit keine Blendung erlebt (ca. 80 %), mit der Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsfläche zufrieden ist (ca. 80 %) und auch keine Eingriffe im Automatikbetrieb vornimmt (ca. 90 %).

Abbildung 20: Ergebnisse der Nutzer:innen-Befragung zur Lichtatmosphäre im F&E-Gebäude.



Durch die Erfüllung individueller Beleuchtungspräferenzen mit hohen Beleuchtungsstärken und unterschiedlichen Farbtemperaturen wird eine positive Wirkung auf Arbeitsleistung, Wohlbefinden und Akzeptanz erreicht. Das integrierte „Human Centric Lighting“ Konzept unterstützt die zirkadianen Rhythmen der Gebäudenutzer:innen. Der hohe Tageslichteintrag reduziert mit Hilfe einer tageslichtabhängigen Kunstlichtsteuerung den Energiebedarf für die künstliche Beleuchtung auf ein Minimum. Die Möglichkeit, eine Vielzahl von Zustandsinformationen im Gebäude zu protokollieren und zu überwachen, kann zur Verbesserung der Steuerung genutzt werden, indem im Betrieb auftretende Nutzer:innen-Effekte nachträglich in der Steuerungslogik berücksichtigt werden können (Post Occupancy Evaluation). Damit können die Zufriedenheit und die Wirksamkeit gesteigert und der Energiebedarf weiter reduziert werden.

Die österreichische Fallstudie wurde umfangreich in einem „Fact Sheet“ dokumentiert und in den Bericht T61.D.3 integriert (vgl. Kapitel 5.6).

5.5. Vernetzende Aktivität: Bewertungstool & VR-Entscheidungshilfe

5.5.1. Stündliche Bewertungsmethode für integrierte Lösungen

Im internationalen Task wurde ein stundenbasiertes Bewertungs- und Ratingverfahren für den Energiebedarf von integrierten Beleuchtungslösungen entwickelt. Das generische Modell dazu wurde im Rahmen der Aktivität C.4. im Subtask C entwickelt. Der Ansatz basiert auf einer klaren Trennung zwischen der Nachbildung der Realität (Tageslicht, Kunstlicht, Belegungsverhalten) auf der einen Seite und der Beschreibung von Sensoren, Aktoren und (Netzwerk-)Funktionalität auf der anderen Seite. Letztere sind dabei bewusst in Übereinstimmung mit der Standard-BACS-Beschreibungssemantik (Building Automation and Control System) gehalten. Dadurch wird ein integrierter Arbeitsablauf für die Beleuchtungsplanung und die Inbetriebnahme von Beleuchtungsanlagen ermöglicht, wobei eine doppelte Modellierung/Spezifikation in Zukunft vermieden wird.

Der österreichische Beitrag durch Bartenbach zu dieser Aktivität konzentrierte sich auf die Vorbereitung und Anpassung der Tageslichtberechnungsmethodik als Baustein für das ganzheitliche Bewertungsverfahren. Dazu wurde der Algorithmus (die sogenannte 3-Phasen-Methode) dokumentiert und exemplarisch implementiert. Zusätzlich wurde eine Definition zur notwendigen Datenqualität für die Abbildung von Tageslichtsystemen in dieser Methodik ausgearbeitet. Diese Inhalte wurden dem Koordinator der Aktivität auf internationaler Ebene Jan de Boer (Operating Agent des Tasks) für die Einbindung in das stundenbasierte Bewertungsverfahren zur Verfügung gestellt.

Dieses gesamtheitliche, stundenbasierte Verfahren fließt aktuell als zusätzlicher Anhang in die Überarbeitung der Norm ISO 10916 ein. Dazu wurde parallel zum Projekt auf IEA Ebene eine Task Force des ISO TC 274 ins Leben gerufen. Diese Arbeitsgruppe hat in enger Zusammenarbeit mit dem IEA Task die neue Bewertungsmethodik ausgearbeitet und für die Norm verschriftlicht. Die überarbeitete Version der Norm ISO 10916 enthält bereits den zusätzlichen Anhang, ist inzwischen im Status eines Committee Draft im ISO TC 274, und wird demnächst als Draft International Standard in die nächste Begutachtungsphase gehen.

5.5.2. Virtual Design Guide

Zusätzlich zu den Aktivitäten rund um das Bewertungsverfahren erklärte sich Bartenbach bereit, die österreichische Case Study auch als Beispiel für den „virtual design guide“ aufzubereiten. Dazu wurde die Fallstudie speziell fotografisch erfasst, um Überblendungen unterschiedlicher Lichtsituationen zu ermöglichen und damit Steuerungsszenarien zu zeigen. Die Fallstudie ist gemeinsam mit den weiteren, für die virtuelle Design-Hilfe aufbereiteten Beispielen (SPARK-Bürogebäude in Lund, Schweden; Einzelbüro in Aversa, Italien; industrielles Bürogebäude in Gdansk, Polen) auf der Webseite des Tasks erlebbar.

Abbildung 21: Präsentation der österreichischen Fallstudie in der virtuellen Entscheidungshilfe.

CASE STUDY: BARTENBACH

THIS IS A SIMULATION OF A DAY-TIMELAPSE AT THE BARTENBACH OFFICE IN ALDRANS, AUSTRIA. THE SEQUENCE IS SHOWING THE DYNAMICS OF DAYLIGHT, COMPLEMENTED WITH ELECTRIC LIGHTING DURING DIFFERENT TIMES OF THE DAY. DETAILED DESCRIPTION OF THE DYNAMICS IS BELOW THE IMAGE. START THE SIMULATION WITH THE GREEN "START SEQUENCE" BUTTON AT THE BOTTOM.



EXAMPLE SCHEDULE:

06:00 - 09:00 - COOL WHITE ELECTRIC LIGHT IS SLOWLY DIMMING DOWN AS THE DAYLIGHT INTENSITY INCREASES
09:00 - 12:00 - DYNAMIC CHANGE IN DAYLIGHT CONDITIONS BETWEEN OVERCAST AND SUNNY CONDITIONS
12:00 - 16:00 - GLARE PROTECTION IS ACTIVATED IF NEEDED
16:00 - 18:00 - WHILE DAYLIGHT INTENSITY DECREASES, NEUTRAL WHITE ELECTRIC LIGHT IS SLOWLY DIMMING UP
18:00 - 19:00 - ELECTRIC LIGHTING TRANSITIONS TO A WARM WHITE COLOR TEMPERATURE
19:00 - 20:00 - WINDOW SCREENS CLOSE DURING NIGHT HOURS TO INCREASE INSULATION

SHOW SEQUENCE

IMAGE 1

IMAGE 2

IMAGE 3

IMAGE 4

IMAGE 5

IMAGE 6

Der Virtual Design Guide wird bis Mitte 2022 auf der Website des IEA SHC Task 61 veröffentlicht und frei verfügbar gemacht: <https://task61.iea-shc.org/>.

5.6. Veröffentlichungen

Zahlreiche Berichte wurden in den Subtasks von den internationalen Projektpartner:innen in enger Zusammenarbeit erstellt. Drei Berichte – C.1, C.2.1 und C.2.2 – wurden unter der Leitung von Hr. Geisler-Moroder von Bartenbach erarbeitet. Inhaltlich waren die österreichischen Vertreter von Bartenbach und HELLA an folgenden Berichten aus dem internationalen Task beteiligt:

- **Technical Report T61.A.1.: Literature review of user needs, toward user requirements.** Editor: Barbara Szybinska Matusiak; österreichischer Beitrag: David Geisler-Moroder und Wilfried Pohl (beide Bartenbach)
- **Technical Report T61.B.1.: Survey on opportunities and barriers in lighting controls.** Editor: Marc Fontoynt; österreichischer Beitrag: David Geisler-Moroder (Bartenbach), Robert Weitlaner (HELLA)
- **Technical Report T61.B.2.: Review of lighting and daylighting control systems.** Editor: Marc Fontoynt; österreichischer Beitrag: Robert Weitlaner (HELLA)
- **Technical Report T61.B.3.: Review of new systems and trends.** Editor: Marc Fontoynt; österreichischer Beitrag: Robert Weitlaner (HELLA)
- **Technical Report T61.B.5.: Standardisation issues related to lighting and daylighting control systems.** Editor: Marc Fontoynt; österreichischer Beitrag: Robert Weitlaner (HELLA)
- **Technical Report T61.C.1.: Workflows and software for the design of integrated lighting solutions.** Editor und österreichischer Beitrag: David Geisler-Moroder (Bartenbach)
- **Technical Report T61.C.2.1.: White paper: BSDF generation procedures for daylighting systems.** Verantwortlich und österreichischer Beitrag: David Geisler-Moroder (Bartenbach)
- **Technical Report T61.C.2.2.: Analysis and evaluation of BSDF characterization of daylighting systems.** Editor und österreichischer Beitrag: David Geisler-Moroder (Bartenbach)
- **Technical Report T61.C.3.: Spectral sky models for advanced daylight simulations.** Editor: Aicha Diakite-Kortlever; österreichischer Beitrag: David Geisler-Moroder (Bartenbach)
- **Technical Report T61.C.4.: Hourly Rating Method for the Energy Demand of Integrated Lighting Solutions.** Editor: Jan de Boer; österreichischer Beitrag: David Geisler-Moroder (Bartenbach)
- **Technical Report T61.D.2.: Evaluating integrated lighting projects.** Editoren: Claudia Amorim Naves David, Veronica Garcia-Hansen, Niko Gentile, Werner Osterhaus und Kieu Pham; österreichischer Beitrag: David Geisler-Moroder (Bartenbach)
- **Technical Report T61.D.3.: Integrating daylighting and lighting in practice - Lessons learned from international case studies.** Editoren: Niko Gentile und Werner Osterhaus; österreichischer Beitrag: David Geisler-Moroder und Sascha Hammes (beide Bartenbach)

Im Rahmen des internationalen Task wurden weitere Berichte erstellt, die für österreichische Unternehmen und Einrichtungen relevant sind. Daraus seien hier drei Arbeiten erwähnt:

- Technical Report T61.A.3.: Personas. Editor: Barbara Szybinska Matusiak.
- Technical Report T61.D.1.: Literature review: Energy saving potential of user-centered integrated lighting solutions. Editoren: Niko Gentile und Werner Osterhaus.
- IEA SHC Position Paper: Daylighting of Non-Residential Buildings. Jan de Boer

Für den ersten Bericht wurden in Subtask A sogenannte „Personas“ zur Darstellung des Verhaltens der Nutzer:innen ausgearbeitet. Für unterschiedliche Gebäudetypen (Büro-, Schul-, Universitäts-, Gewerbe- und Industriegebäude, sowie Home-Office-Situationen) wurden typische Nutzer:innen-Gruppen identifiziert und dafür Personas erstellt. Im Gegensatz zur Beschreibung von Nutzer:innen mit Zahlen und Statistiken, spiegelt eine einzelne Persona eine Gruppe wider und wird mit einer Erzählung dargestellt. Die Persona hat einen Namen, eine Familie und Lebensumstände, die für die Gruppe repräsentativ sind, auch ihre Werte und Interessen abbildet. Personas können in Zukunft etwa in der Beleuchtungsplanung für eine ganzheitliche Beschreibung der Nutzer:innen-Auswirkungen (Anforderungen und Verhalten) auf Beleuchtungsanlagen verwendet werden.

In einer weiteren Zusammenarbeit in Subtask D wurde eine umfangreiche Literaturübersicht erstellt. Kernpunkt dabei war die Bewertung des Energieeinsparpotenzials von integralen Tages- und Kunstlichtlösungen, insbesondere im Hinblick auf Präferenzen und Verhalten der Nutzer:innen. Die zusammengefassten Ergebnisse geben einen guten Überblick über Möglichkeiten, Chancen und Potenziale derartiger Beleuchtungsplanungen und -anlagen.

Mit dem Positionspapier „Daylighting of Non-Residential Buildings“ wird auf die Notwendigkeit besserer Tagesbelichtung in Gebäuden aufmerksam gemacht. Es wird die Relevanz guter Tagesbelichtung erklärt und der aktuelle Status von Technologie und Industrie beschrieben. Aus dem Potential und den zu befürchteten Hürden werden schlussendlich notwendige Maßnahmen für verschiedene Stakeholder abgeleitet. Ziel dieses Positionspapiers ist es, den relevanten Entscheidungsträger:innen im öffentlichen und privaten Bereich aufzuzeigen, warum und auf welche Weise die Verwendung von Tageslicht zur Belichtung von Nicht-Wohngebäuden unterstützt und gefördert werden soll.

Alle Berichte und Veröffentlichungen des IEA SHC Task 61 / EBC Annex 77 sind auf der Webseite des Tasks abrufbar <https://task61.iea-shc.org/publications> sowie auf der Seite IEA Forschungskoooperation auf nachhaltigwirtschaften.at verfügbar (<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/technologieprogramme/shc/iea-shc-task-61.php>).

6 Vernetzung und Ergebnistransfer

Die am internationalen Task beteiligten Institutionen arbeiteten in den einzelnen Projekten der Subtasks intensiv zusammen. Dadurch wurden eine länderübergreifende Betrachtung und Bearbeitung der jeweiligen Aufgaben sichergestellt. Die Mitglieder ließen dabei die Ergebnisse und Erfahrungen aus nationalen Projekten einfließen, um einen gemeinsamen internationalen Stand zu generieren. Auf internationaler Ebene wurden insgesamt zehn Meetings abgehalten und vier Industrieworkshops durchgeführt. Aufgrund COVID-19-bedingter Reise- und Kontaktbeschränkungen mussten ab März 2020 alle Projektmeetings online abgehalten werden und es waren keine Industrieworkshops mehr möglich.

- IEA SHC Task 61/EBC Annex 77 1st Industry Workshop and 1st Expert Meeting, Lund, Schweden, 28.02.-02.03.2018
- IEA SHC Task 61/EBC Annex 77 2nd Industry Workshop and 2nd Expert Meeting, Lausanne, Schweiz, 05.-07.09.2018
- IEA SHC Task 61/EBC Annex 77 3rd Industry Workshop and 3rd Expert Meeting, Peking, China, 27.-29.03.2019
- IEA SHC Task 61/EBC Annex 77 4th Industry Workshop and 4th Expert Meeting, Danzig, Polen, 16.-18.09.2019
- IEA SHC Task 61/EBC Annex 77 5th Expert Meeting, online, 16.-18.03.2020
- IEA SHC Task 61/EBC Annex 77 6th Expert Meeting, online, 23.-25.09.2020
- IEA SHC Task 61/EBC Annex 77 7th Expert Meeting, online, 23.-24.11.2020
- IEA SHC Task 61/EBC Annex 77 8th Expert Meeting, online, 16.-18.03.2021
- IEA SHC Task 61/EBC Annex 77 9th Expert Meeting, online, 10.-12.05.2021
- IEA SHC Task 61/EBC Annex 77 10th Expert Meeting, online, 04.-05.10.2021

Im Zuge der ersten vier Task Meetings, die noch als Präsenztreffen möglich waren, wurden jeweils sehr erfolgreich Industrieworkshops mit zahlreichen Vertreter:innen der lokalen Industrie-, Planungs- und Forschungsgemeinschaft abgehalten. Dabei wurde bei der Industrie großes Interesse geweckt. Herausragend war dabei sicher die Veranstaltung im Rahmen des 3. Expert:innen-Meetings im März 2019 in Peking. Bei diesem Workshop waren über 100 Besucher:innen vor Ort anwesend, zusätzlich konnten mehr als 2000 Teilnehmer:innen über den Live-Stream erreicht werden. Hr. Geisler-Moroder konnte hier als österreichischer Vertreter einen Vortrag halten und über die erfolgreichen Arbeiten im Subtask C berichten.

Für die österreichische Vernetzung war das IEA Vernetzungstreffen 2019 aus Sicht des Konsortiums ein Highlight. Bartenbach war stolz, die österreichische IEA Gemeinde am 26. September 2019 zu diesem Treffen in Aldrans willkommen zu heißen. Zahlreiche österreichische Vertreter:innen in diversen IEA Tasks und Annexes diskutierten dabei zum Themenschwerpunkt „Nachhaltige Sanierung von Gebäuden und Stadtteilen“. Außerdem konnte das Projekt bei dieser Gelegenheit detailliert vorgestellt werden.

Im Hinblick auf die internationale Verbreitung der Projektergebnisse war sicherlich das Webinar zum Thema „Integrated Solutions for Daylight and Electric Lighting“ eine herausragende Möglichkeit. In dieser Online-Veranstaltung am 24.09.2020 im Rahmen der Reihe der IEA SHC Solar Academy wurde

die Arbeit des IEA SHC Task 61 / EBC Annex 77 zu integralen Lösungen für Tageslicht, Kunstlicht und Lichtsteuerungen vorgestellt. Das Webinar wurde aufgezeichnet und am 25.09.2020 morgens für Teilnehmer:innen im pazifischen Raum nochmals ausgestrahlt, um eine größere Reichweite zu erzielen. Beide Termine waren begleitet von zusätzlichen Q&A Sessions für Fragen aus dem Publikum und stießen auf großes Interesse.

Zusammenarbeit mit anderen IEA Tasks und externen Organisationen

Innerhalb der IEA gab es eine Zusammenarbeit mit dem IEA PVPS Task 16 „Solar resource for high penetration and large scale applications“. Aus dem vorliegenden Projekt fand diese Kooperation im Rahmen des Subtask C.3. „Spektrale Himmelsmodelle für neuartige Tageslichtsimulationen“ statt. Ebenfalls aus dem Subtask C.3. entstand eine Zusammenarbeit mit der Commission International d'Eclairage (CIE), TC 3-60: „Spectral daylight characteristics“. Die Arbeit an der stündlichen Bewertungsmethode für den Energiebedarf integrierter Beleuchtungslösungen war sehr eng mit dem Normungsgremium ISO TC 274 „Light & Lighting“ verknüpft (vgl. Abschnitt 5.5.1, JWG.1.).

Vernetzung mit der Industrie und der planenden Praxis

Sieben Unternehmen (ein Sonnenschutzhersteller (HELLA), ein Softwareunternehmen, fünf Beratungs-/ Ingenieurbüros (u.a. Bartenbach)) und ein Fachverband beteiligten sich aktiv am internationalen Task mit eigenen Arbeitspaketen und inhaltlichen Beiträgen. Drei internationale Unternehmen (zwei Beleuchtungshersteller und ein Dachfensterhersteller) beteiligten sich durch Teilnahmen an Industrieworkshops und inhaltlichem Austausch. Das österreichische Konsortium war hier mit einem Industrieunternehmen (HELLA) und einem Lichtplanungs- und F&E-Dienstleister (Bartenbach, in leitender Funktion in Subtask C) sehr prominent vertreten.

Als Vertretung im österreichischen, im deutschen und im europäischen Dach-Verband der Sonnenschutzhersteller verbreitete HELLA vor allem die Themen des Subtask C.2. „Standardisierung der Charakterisierung von Tageslichtsystemen mit BSDFs“, sowie die Datenbankanbindung über das europäisch-amerikanische Kooperationsprojekt ICON⁷. In der Arbeitsgruppe des europäischen Dachverbandes sitzen Persönlichkeiten, die auch in den CEN Normungsgremien vertreten sind. Diese wurden auf die technologische Reife der Charakterisierung von Tageslichtsystemen durch BSDFs aufmerksam gemacht. Diese Vernetzung des Projektkonsortiums in die wesentlichen Industrieverbände stellt einen wichtigen Grundstein für die motivierte Adoption der wissenschaftlichen Basis in diverse Normungsambitionen dar.

Zwischenergebnisse und Deliverables wurde zeitnah über alle Kanäle der österreichischen Teilnehmer:innen verteilt, womit eine große Anzahl der deutschsprachigen Architekturbüros und Lichtplanungsbüros erreicht wurden.

Forschungsergebnisse zur individualisierten Integrabilität von Kunst- und Tageslicht wurde einerseits der wissenschaftlichen und andererseits der planerischen Gemeinschaft mehrfach präsentiert. Von der Konferenz zur Biologischen Wirkungsweise von Licht und der Tagung Adaptive Building Skins bis hin zu Online-Formaten wie etwa bauinformation.com.

⁷ ICON LBNL-Fraunhofer ISE: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/icon-lbnl-fraunhofer-ise.html>

Mit den vier Industrie-Workshops und dem Webinar im Rahmen der Solar Academy informierten Expert:innen aus dem Task kontinuierlich über allgemeine Fragen der Lichtintegration und mögliche Lösungen. Expert:innen aus der Industrie teilten ihre Erfahrungen und Ansichten in Diskussionsrunden und Vorträgen. Damit konnten die Aktivitäten des Projekts im Hinblick auf die Bedürfnisse der Industrie und der Anwender:innen kritisch reflektiert werden. Mit den Industrie-Workshops und dem Webinar wurden (persönlich und per Live-Stream) insgesamt mehr als 3000 Interessenten erreicht. Zusätzlich konnten die Expert:innen aus dem Task in zahlreichen Beiträgen bei Workshops, Konferenzen und Seminaren über die Inhalte und Ergebnisse des Tasks informieren.

In einer Umfrage im Rahmen des Subtask B wurden mehr als 100 Expert:innen aus der Praxis (Gebäude-/ Facilitymanager:innen, Anwender:innen und Planer:innen) zu Chancen und Barrieren von Lichtsteuerungssystemen in ihrem Unternehmen befragt. Anschließend wurden sie über die Evaluierung informiert.

Spezialausgabe zum Journal „Energy and Buildings“

Neben zahlreichen Tagungsbeiträgen und wissenschaftlichen Artikeln zu den Task Ergebnissen, konnte eine Spezialausgabe des Elsevier Journals „Energy and Buildings“ mit Fokus auf die Inhalte und Arbeit des IEA SHC Task 61/EBC Annex 77 zum Thema „Ganzheitliche Lösungen für Tages- und Kunstlicht“ initiiert werden. Hier werden etwa 25 Beiträge von Task-Expert:innen erwartet, auch die redaktionelle Betreuung erfolgt durch Gast-Editor:innen aus dem Task (Eleanor S. Lee, Niko Gentile, Werner Osterhaus, Jan de Boer – Guest Managing Editor).

Publikationen und Vorträge

Über die Ergebnisberichte des Tasks hinaus, konnten von den österreichischen Projektpartnern zum Thema des Projekts zahlreiche Publikationen verfasst und veröffentlicht werden:

- Eleanor S. Lee, David Geisler-Moroder, Gregory Ward: Modeling the direct sun component in buildings using matrix algebraic approaches: Methods and validation. Solar Energy 160, 2018.
- David Geisler-Moroder: Innovative Lösungen für Tages- und Kunstlicht. SESWA 2018, Wien, Österreich, 2018.
- David Geisler-Moroder: Towards a standardization of BSDF daylight system characterization: Radiance Workshop 2018, Loughborough, UK, 2018.
- Eleanor Lee, Taoning Wang, Lars O. Grobe, Gregory J. Ward, Jan Wienold, David Geisler-Moroder: Generating High-Resolution BSDFs for the Direct Beam Component. Radiance Workshop 2018, Loughborough, UK, 2018.
- David Geisler-Moroder, Christian Knoflach, Silvia Öttl, Wilfried Pohl: Characterization of advanced daylighting systems and combined lighting and thermal simulation. Advanced Building Skins 2018. Bern, Schweiz, 2018.
- David Geisler-Moroder: Kombinierte lichttechnische und thermische Bewertung von Fassadensystemen. Energieaktive Fassaden. Wien, Österreich, 2018.
- Jan de Boer, David Geisler-Moroder: Integrated Solutions for Daylight and Electric Lighting: From Component to User Centered System Efficiency. Workshop IEA Solar Heating and Cooling Research Co-operation, Wien, 2019.
- David Geisler-Moroder, Jan de Boer: IEA Activities towards standardizations for daylight system characterizations and hourly rating methods. VELUX Daylight Symposium, Paris, 2019.

- David Geisler-Moroder: BSDF Daylight System Characterization – Sensitivity and Requirements to Resolution, Radiance Workshop 2019, New York, 2019.
- David Geisler-Moroder, Wilfried Pohl, Eleanor S. Lee, Taoning Wang: Advanced daylight modeling of façade systems for energy and comfort analysis. Advanced Building Skins 2019. Bern, Schweiz, 2019.
- Robert Weitlaner, et.al.: Facecamp 2.0 – mehr als vor Sonne schützen. BioWi 2019, Weimar 13.11.2019.
- David Geisler-Moroder: Tageslicht im Fokus – Modellierung und Simulation von Fassadensystemen, bauintformation.com, Online-Vortrag, 16.06.2020.
- Robert Weitlaner: Ganzheitliche Tageslichtdesigns. Fassaden Digital Symposium, Online, 17.09.2020.
- David Geisler-Moroder: Design support for practitioners – simulation workflows and daylight system characterization, IEA SHC Solar Academy, Webinar on Integrated Solutions for Daylight and Electric Lighting, Webinar, 24.09.2020.
- Sascha Hammes, Johannes Weninger, Markus Canazei, Rainer Pfluger, Wilfried Pohl: Die Bedeutung von Nutzerzentrierung in automatisierten Beleuchtungssystemen, Bauphysik 10/2020.
- Barbara Matusiak, David Geisler-Moroder, IEA SHC Task 61 / EBC Annex 77: Integrated Solutions for Daylight and Electric Lighting: From Component to User Centered System Efficiency, Contribution to Solar Update, Newsletter of the IEA SHC Programme, 12/2020.
- Sascha Hammes, Johannes Weninger, David Geisler-Moroder, Rainer Pfluger, Wilfried Pohl: Reduzierung des Kunstlichteinsatzes durch Anpassung der Nachlaufzeit an individuelle Anwesenheitsmuster, Bauphysik 02/2021.
- Greg Ward, Taoning Wang, David Geisler-Moroder, Eleanor S. Lee, Lars O. Grobe, Jan Wienold, Jacob C. Jonsson: Modeling specular transmission of complex fenestration systems with data-driven BSDFs, Building and Environment 196, 2021.
- David Geisler-Moroder: Integrale Planung ganzheitlicher Lösungen für Tageslicht, Kunstlicht und Lichtsteuerung: Hürden, aktuelle Möglichkeiten und Empfehlungen, Licht 2021, Online, 22.-24.03.2021.
- Sascha Hammes, Johannes Weninger: Die Bedeutung nutzerzentrierter Beleuchtung, Licht 2021, Online, 22.-24.03.2021.
- Robert Weitlaner: Individualisiertes (Tages)Licht. FASSADEN Digital, Online, 30.6.2021.
- David Geisler-Moroder, Gregory J. Ward, Taoning Wang, Eleanor S. Lee: To B(SDF) or not to B(SDF) – Peak Extraction and other BSDF updates, 19th International Radiance Workshop, Bilbao, Spanien, 19.-20.08.2021.
- David Geisler-Moroder, Gregory J. Ward, Taoning Wang, Eleanor S. Lee: Peak extraction in daylight simulations using BSDF data, Building Simulation 2021, Brügge, Belgien & Online, 01.-03.09.2021.
- Sascha Hammes, Martin Hauer, David Geisler-Moroder, Johannes Weninger, Rainer Pfluger, Wilfried Pohl: The impact of occupancy patterns on artificial light energy demand - simulation and post-occupancy-evaluation, Building Simulation 2021, Brügge, Belgien & Online, 01.-03.09.2021.
- Vincent van Karsbergen, Stephan Moser, Daniel Plörer, Robert Weitlaner, Martin Hauer, Rainer Pfluger: An experiment investigation of the IndiLight-Module – a multi-objective

occupant-centric day- and artificial lighting control strategy. Advanced Building Skins, Bern, 21.-22.10.2021.

- David Geisler-Moroder, Sascha Hammes, Wilfried Pohl: Die Beleuchtung als Herzstück – Integrale Gebäudesteuerung, TGA Planer-Jahrbuch 2022, TGA Verlag, Wien, 2022.

7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

Die wichtigsten Erkenntnisse aus dem Projekt lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Eine stetige Verbesserung des Verständnisses der menschlichen Bedürfnisse und Anforderungen der Nutzer:innen an die Beleuchtung helfen, die Zielvorgaben für integrale Beleuchtungsplanung weiter zu verbessern.
- Steuerungen sind die Schlüsseltechnologie zur Umsetzung integraler Tages- und Kunstlichtlösungen.
- Neue Entwurfsprozesse schaffen es integrale Beleuchtungslösungen auf die Schreibtische der Designer:innen und damit in die Umsetzung zu bringen. Dafür müssen die Planungsmethoden und Bewertungsverfahren weiter verbessert und normativ verankert werden.
- Die Resultate aus den Fallstudien zeigen, dass:
 - Der Energiebedarf für Beleuchtung durch die Kombination effizienterer Lichtquellen, fortschrittlicher Steuerung und einem stärkeren Bewusstsein für die Integration von Tageslicht und Kunstlicht drastisch gesenkt werden.
 - Integrative Lichtlösungen treiben derzeit die Innovation in der Beleuchtungstechnik voran, gleichzeitig erweitert sich das Wissen über nicht-visuelle Lichtwirkungen und die daraus abgeleiteten Anforderungen.
 - In der Praxis ist integrale Planung und damit integrative Lösungen noch schwach verankert. Bislang mangelt es den Planern an Werkzeugen und Wissen, um Tageslicht in integrative Beleuchtungskonzepte einzubinden.
 - Die Integration des Tageslichts ist von größter Bedeutung für höchste Qualität einer integrativen Lichtlösung deutlich über die Energieeinsparung hinaus.
 - Die integrale Planung steht vor neuen Herausforderungen: neben energetischen und visuellen Aspekten müssen nun auch Fragen rund um Komfort und Gesundheit berücksichtigt und beantwortet werden. Das Design integrativer Projekte muss dadurch immer mehr auf die Bedürfnisse der Nutzer:innen und nicht mehr rein auf die allgemeine Raumnutzung ausgerichtet sein.

Die nationale und internationale Zusammenarbeit im nun abgeschlossenen IEA SHC Task 61 / EBC Annex 77 war höchst erfolgreich und wurde auch vom SHC Executive Committee als solche wahrgenommen. Während der Bearbeitung in den vergangenen 3 ½ Jahren entstanden zahlreiche neue Forschungsfragen. Ein Großteil des Konsortiums einigte sich daher darauf eine weiterführende Aktivität durchführen zu wollen und bestätigte vielfach auch bereits bewilligte oder beantragte nationale Projekte im Hintergrund. Beim ExCo Meeting Mitte November wurde vom Operating Agent Jan de Boer zusammen mit der Abschlusspräsentation zum Task 61 auch ein Konzeptpapier für diese neue Aktivität unter dem Titel „Low Carbon, high comfort integrated lighting“ vorgestellt. Das Feedback auf den Vorschlag war einstimmig positiv und so wurde eine Task Definition Phase für das Jahr 2022 bewilligt. Hier wird vom Konsortium und auch vom Vertreter im ExCo wiederum eine starke österreichische Rolle gewünscht.

Im Zuge des internationalen Tasks konnten die österreichischen Projektpartner Bartenbach und HELLA zahlreiche und vielversprechende neue Kontakte zu Forschungseinrichtungen knüpfen. Daraus können und werden in Zukunft Kooperationen im Rahmen von Forschungsprojekten entstehen. So soll bereits Anfang 2022 gemeinsam von Bartenbach und HELLA mit zwei weiteren österreichischen Partnern zusammen mit der Hunan Universität, einem chinesischen Forschungspartner aus dem Task 61, der ein chinesisches Konsortium aus fünf Firmen und zwei Universitäten koordiniert, ein Projekt im Rahmen einer bilateralen Ausschreibung für Forschungsprojekte zwischen Österreich und China eingereicht werden. In dieses Projekt im Themenfeld „Energieeffiziente Gebäude / Smart Cities“ werden die Ergebnisse aus dem abgeschlossenen Projekt direkt einfließen.

Literaturverzeichnis

IEA SHC Position Paper “Daylighting of Non-Residential Buildings”, IEA SHC, 2019. Online: <https://task50.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/IEA-SHC-Daylighting-Non-Residential-Buildings-Position-Paper.pdf> (abgerufen am 10. März 2022, 18:46).

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) „Nachhaltige Klimaschutz-Maßnahmen“, Online: https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/agenda2030/bericht-2020/nachhaltigkeit.html (abgerufen am 10. März 2022, 18:48)

UN Environment Programme (UNEP) “2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector”, Online: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34572/GSR_ES.pdf (abgerufen am 10. März 2022, 18:49)

BODYBUILD – Boosting Daylight Utilization in Buildings, Online: https://www.bartenbach.com/de/projekte/detail/?tx_bbprojects_projects%5Bprojects%5D=244&tx_bbprojects_projects%5Baction%5D=show&tx_bbprojects_projects%5Bcontroller%5D=Project (abgerufen am 10. März 2022, 18:50) und online: <https://projekte.ffg.at/projekt/2758233> (abgerufen am 10. März 2022, 18:50).

VisErgyControl – Integrale Tages- und Kunstlicht-steuerung für hohen visuellen und melanopischen Komfort bei hoher Primärenergieeffizienz, Online: <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/sdz/projekte/vis-ergy-control.php> (abgerufen am 10. März 2022, 18:52).

FACEcamp – Kompetenzzentrum zur Unterstützung der Entwicklung moderner Fassadensysteme, Online: https://www.bartenbach.com/de/projekte/detail/?tx_bbprojects_projects%5Bprojects%5D=470&tx_bbprojects_projects%5Baction%5D=show&tx_bbprojects_projects%5Bcontroller%5D=Project (abgerufen am 10. März 2022, 18:54) und online: <https://www.facecamp.it/> (abgerufen am 10. März 2022, 18:54).

ICON LBNL-Fraunhofer ISE – Modelle und Methoden zur optischen und thermischen Charakterisierung von Gebäudehüllen, Online: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/icon-lbnl-fraunhofer-ise.html> (abgerufen am 10. März 2022, 18:55).

Abbildungsverzeichnis

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 1: Umsetzung einer integralen Tages- und Kunstlichtlösung (links), und innovative Fassadenlösung im F&E-Gebäude bei Bartenbach in Aldrans, Österreich. (Bilder: Bartenbach) | 7 |
| Abbildung 2: Einer der Forschungsschwerpunkte im Task: Verfahren zur Charakterisierung von Tageslichtsystemen (Bild: Bartenbach) | 8 |
| Figure 3: Implementation of an integral daylighting and electric lighting solution (left), and innovative façade solution in the R&D building at Bartenbach in Aldrans, Austria. (Images: Bartenbach) | 10 |
| Figure 4: One of the main research areas in the Task: methods for characterizing daylighting systems (Image: Bartenbach) | 11 |
| Abbildung 5: Struktur des IEA SHC Task 61 / EBC Annex 77 | 16 |
| Abbildung 6: Anforderung aus Umfrageergebnissen an die Anpassbarkeit von Beleuchtungslösungen. | 19 |
| Abbildung 7: Darstellung Sonnenprofilwinkel als Basis der Lamellenstellung Cut-Off, die die Besonnung der dahinterliegenden Glasscheibe verhindern. Die Sonnenstrahlen werden blockiert. (Bild: HELLA) | 22 |
| Abbildung 8: Tagesbelichtung, solarer Eintrag und nicht-visuelle Indikatoren pro Winkelstellung und Zeitschritt (Bild: HELLA) | 23 |
| Abbildung 9: User Interface der HELLA Steuerung ONYX (Bild: HELLA) | 24 |
| Abbildung 10: Dokumentation des F&E Gebäude bei Bartenbach (Living Lab) als beispielhaftes Planungsprojekt mit integrierter Tages- und Kunstlichtlösung und Steuerung. (Bild: Bartenbach) | 25 |
| Abbildung 11: Messgeräte bei Bartenbach zur Charakterisierung von Tageslichtsystemen: BSDF Messgerät Mini-Diff (links), künstliche Sonne (Mitte), Ulbrichtkugel (rechts). (Bilder: Bartenbach) ... | 27 |
| Abbildung 12: Vorschlag zur Erzeugung von BSDF Daten (Quelle: Bartenbach) | 27 |
| Abbildung 13: Muster der HELLA Außenjalousie ARB80 für den Rundversuch. Produktbild (links; Bild: HELLA), Testmuster der Lamellen (Mitte), Muster des Grundmaterials (rechts). (Bilder Mitte und rechts: Bartenbach) | 29 |
| Abbildung 14: Muster des MechoShade Textil-Rollos für den Rundversuch. Produktbild der Außenseite (links; Bild: MechoShade Systems, LLC.), Innenseite der Testmuster (Mitte), Testmuster im Fenster (rechts). (Bilder Mitte und rechts: Bartenbach) | 29 |
| Abbildung 15: Auswertung der HELLA ARB 80 Klems BSDF Datensätze: hemisphärisch-hemisphärischer Transmissionsgrad τ_{h-h} sowie direkt-hemisphärischer τ_{x-h} und direkt-direkter τ_{x-x} Transmissionsgrad für ausgewählte Einfallswinkel | 30 |
| Abbildung 16: Auswertung der HELLA ARB 80 Klems BSDF Datensätze: winkelabhängige Darstellung des hemisphärisch-hemisphärischen Transmissionsgrades τ_{h-h} | 30 |
| Abbildung 17: Renderings für einen Zeitpunkt mit HELLA ARB 80 BSDF-Datensätzen in Klems Auflösung (ohne Anwendung der Peak-Extraktionsmethode). (Bild: Bartenbach) | 31 |
| Abbildung 18: Position der Sensoren und maximal durch Kunstlicht in jeder Farbtemperatur (2.200 K bis 5.000 K) erreichbare Beleuchtungsstärke. (Bild: Bartenbach) | 35 |
| Abbildung 19: Elektrische Leistung für Kunstlicht für verschiedene Beleuchtungszonierungen, ergänzt durch gemessene tageslichtabhängige Beleuchtungsstärken. (Bild: Bartenbach) | 36 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 20: Ergebnisse der Nutzer:innen-Befragung zur Lichtatmosphäre im F&E-Gebäude. | 37 |
| Abbildung 21: Präsentation der österreichischen Fallstudie in der virtuellen Entscheidungshilfe. | 39 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1: Auszug aus den Anforderungen an Beleuchtungssysteme im Anwendungsfall Büro | 20 |
| Tabelle 2: Auszug aus dem Vergleich der Software Tools zur Planungsunterstützung integraler Lichtlösungen. | 26 |
| Tabelle 3: Auszug aus den Empfehlungen für die Anwendung der Daten..... | 28 |
| Tabelle 4: LENI-Werte berechnet anhand der Messdaten und für die Referenz..... | 35 |
| Tabelle 5: Gemessene Farbtemperaturen (CCT), vertikale Beleuchtungsstärken (Ev), melanopische Beleuchtungsstärken (EML), und melanopisch-photopisches Verhältnis (M/P). Referenz EML laut WELL v2: 180 EML summarisch für Tageslicht und Kunstlicht. | 36 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| BACS | Building Automation and Control System |
| BMS | Gebäudemanagementsystem (Building Management System) |
| BSDF | Bidirektionale Streuverteilungsfunktion (bidirectional scattering distribution function) |
| CCT | Korrelierte Farbtemperatur (correlated color temperature) |
| DGP | Tageslicht-Blendwahrscheinlichkeit (Daylight Glare Probability) |
| Eh | Horizontale Beleuchtungsstärke |
| EML | Äquivalente melanopische Lux (equivalent melanopic lux) |
| Ev | Vertikale Beleuchtungsstärke |
| IEA | Internationale Energieagentur (International Energy Agency) |
| ipRGC | Intrinsisch fotosensitive retinale Ganglienzelle (intrinsically photosensitive retinal ganglion cell) |
| LENI | Lighting Energy Numeric Indicator |
| LiTG | Deutsche Lichttechnische Gesellschaft |
| M/P | melanopisch-photopisches Verhältnis |
| POE | Post Occupancy Evaluation |
| SHC | Solares Heizen und Kühlen (Solar Heating and Cooling) |
| TCP | Technology Collaboration Programme |
| UI | Bedienoberfläche (User Interface) |

A large, light blue geometric shape, resembling a right-angled triangle or a trapezoid, is positioned on the right side of the page. It has a vertical right edge and a horizontal top edge, with a diagonal line connecting the top-left corner to the bottom-right corner.

**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

[bmk.gv.at](https://www.bmk.gv.at)